

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1632

Compartición en la banda 5 250-5 350 MHz entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo) y los sistemas de acceso inalámbrico (incluidas las redes radioeléctricas de área local) en el servicio móvil

(Cuestión UIT-R 218/7)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda de frecuencias 5 250-5 350 MHz está atribuida al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (activo) y al servicio de radiolocalización a título primario;
- b) que ciertas administraciones han propuesto la utilización de la banda 5 250-5 350 MHz para las redes de área local inalámbricas (WLAN) de alta velocidad y baja potencia, o las redes radioeléctricas de área local (RLAN);
- c) que se ha propuesto la instalación de estas WLAN de alta velocidad en la susodicha banda como dispositivos sin licencia, lo que imposibilita el control reglamentario de su densidad de instalación,

reconociendo

- a) que continúan los estudios en el UIT-R con miras a facilitar la compartición de los sistemas de acceso inalámbrico (incluidas las RLAN) con el SETS (activo),

observando

- a) la adopción, por parte de ciertas administraciones, de límites técnicos que permiten que los sistemas de acceso inalámbrico (incluidas las RLAN) funcionen con un límite de p.i.r.e. de 1 W, mientras que otras administraciones han adoptado límites de p.i.r.e. más estrictos,

recomienda

1 que la compartición entre los sensores activos del SETS a bordo de vehículos espaciales con las características indicadas en el Anexo 1, por una parte, y las WLAN de alta velocidad, por otra, en la banda 5 250-5 350 MHz es viable con los sistemas de acceso inalámbricos (incluidas las RLAN) sujetos a las restricciones especificadas en el Anexo 2;

2 que el nivel de protección requerido para los sistemas del SETS indicado en el Anexo 1 se obtenga utilizando los conjuntos alternativos de límites operacionales y técnicos estudiados con arreglo al *reconociendo* a).

Anexo 1

Características técnicas de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales en la banda 5 250-5 570 MHz

Las características técnicas de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales en la banda de frecuencias de 5,3 GHz se recogen en los Cuadros 1 y 2.

CUADRO 1

Características típicas de los radares de generación de imágenes en la banda 5,3 GHz a bordo de vehículos espaciales

Parámetro	Valor			
	SAR1	SAR2	SAR3	SAR4
Altitud orbital (km)	426 (circular)	600 (circular)	400 (circular)	400 (circular)
Inclinación orbital (grados)	57	57	57	57
Frecuencia central de RF (MHz)	5 305	5 405	5 405	5 300
Potencia de cresta radiada (W)	4,8	4 800	1 700	1 700
Polarización	Horizontal (HH)	Horizontal y vertical (HH, HV, VH, VV)	Horizontal y vertical (HH, HV, VH, VV)	Horizontal y vertical (HH, HV, VH, VV)
Modulación de los impulsos	Modulación lineal en MF	Modulación lineal en MF	Modulación lineal en MF	Modulación lineal en MF
Anchura de banda de los impulsos (MHz)	8,5	310	310	40
Duración de los impulsos (μ s)	100	31	33	33
Frecuencia de repetición de los impulsos (pps)	650	4 492	1 395	1 395
Ciclo de trabajo (%)	6,5	13,9	5,9	5,9
Relación de compresión en el intervalo	850	9 610	10 230	1 320
Tipo de antena (m)	Sistema plano de elemento radiantes en fase $0,5 \times 16,0$	Sistema plano de elemento radiantes en fase $1,8 \times 3,8$	Sistema plano de elemento radiantes en fase $0,7 \times 12,0$	Sistema plano de elemento radiantes en fase $0,7 \times 12,0$

CUADRO 1 (Fin)

Parámetro	Valor			
	SAR1	SAR2	SAR3	SAR4
Ganancia de cresta de la antena (dBi)	42,2	42,9	42,7/38 (pleno enfoque/deflexión de haz)	42,7/38 (pleno enfoque/deflexión de haz)
Ganancia media del lóbulo lateral de la antena (dBi)	-5	-5	-5	-5
Orientación de la antena (grados con respecto al nadir)	30	20-38	20-55	20-55
Anchura del haz de antena (grados)	8,5 (elevación), 0,25 (acimut)	1,7 (elevación), 0,78 (acimut)	4,9/18 (elevación), 0,25 (acimut)	4,9/18 (elevación), 0,25 (acimut)
Polarización de la antena	Lineal horizontal/vertical	Lineal horizontal/vertical	Lineal horizontal/vertical	Lineal horizontal/vertical
Punto de compresión de 1 dB de la etapa de entrada del receptor referido a la entrada del receptor (dBW)	Entrada de -62	Entrada de -62	Entrada de -62	Entrada de -62
Saturación de la densidad admisible de alta velocidad referido a la entrada del receptor	-114/-54 dBW de entrada para una ganancia del receptor de 71/11 dB	-114/-54 dBW de entrada para una ganancia del receptor de 71/11 dB	-114/-54 dBW de entrada para una ganancia del receptor de 71/11 dB	-114/-54 dBW de entrada para una ganancia del receptor de 71/11 dB
Máxima potencia admitida a la entrada del receptor (dBW)	+7	+7	+7	+7
Tiempo de funcionamiento (%)	30 de la órbita			
Tiempo mínimo de generación de imágenes (s)	9	15	15	15
Zona de servicio	Superficie continental y litoral			
Anchura de la zona de exploración de imagen (km)	50	20	16/320	16/320

CUADRO 2

Características típicas de los altímetros de radar a 5,3 GHz a bordo de vehículos espaciales

Características de la misión Jason	
Vida útil	5 años
Altitud	1 347 km \pm 15 km
Inclinación	66°
Características del altímetro Poseidon 2	
Tipo de señal	Impulsos modulados linealmente en frecuencias
Frecuencia de repetición de impulsos en la banda C	300 Hz
Duración del impulso	105,6 μ s
Frecuencia de la portadora	5,3 GHz
Anchura de banda	320 MHz
Potencia de cresta de RF de la emisión	17 W
Potencia media de RF de la emisión	0,54 W
Ganancia de la antena	32,2 dBi
Apertura de 3 dB	3,4°
Nivel del lóbulo lateral/máximo	-20 dB
Nivel del lóbulo posterior/máximo	-40 dB
Estampa del haz a -3 dB	77 km
Umbral de interferencia	-118 dBW

CUADRO 3

Características típicas de los dispersómetros a 5,3 GHz a bordo de vehículos espaciales

Parámetro	Valor	
	Dispersómetro 1	Dispersómetro 2
Nombre del sistema	Dispersómetro 1	Dispersómetro 2
Altitud orbital (km)	780	800
Inclinación (grados)	98,5	98,5
Frecuencia central (GHz)	5,3	5,255
Anchura del impulso	70 μ s (centro) 130 μ s (delante/detrás)	8 ms (centro) 10,1 ms (delante/detrás)
Modulación	Onda continua interrumpida	Impulsos modulados linealmente en frecuencia
Anchura de banda del transmisor (kHz)	15	500
Frecuencia de repetición de los impulsos (Hz)	115 (centro) 98 (delante/detrás)	29,4
Tipo de antena	Guiaonda ranurada	Guiaonda ranurada

CUADRO 3 (Fin)

Parámetro	Valor	
Ganancia de la antena (dBi)	31 (centro) 32,5 (delante/detrás)	28,5 (centro) 29,5 (delante/detrás)
Orientación del haz principal de la antena (grados)	Ángulos de incidencia: 18-47 (centro) 24-57 (delante/detrás)	Ángulos de incidencia: 25,0-54,5 (centro) 33,7-65,3 (delante/detrás)
Abertura del haz (−3 dB) de la antena elevación Anchura acimutal del haz	24° (centro) 1,3°	26° (delante/detrás) 0,8°
Ángulo de elevación del instrumento (grados)	29,3	23,6° 23,9° (centro) (delante/detrás) 1,1° 0,8°
Polarización de la antena	Vertical	37,6
Potencia de cresta del transmisor	4,8 kW	Vertical
Temperatura de ruido del receptor (dB)	Factor de ruido: 3	120 W
Zona de servicio	Zonas oceánicas y litorales, masas continentales	Factor de ruido: 3
		Zonas oceánicas y litorales, masas continentales

Anexo 2

Restricciones para la compartición entre los sensores activos a bordo de vehículos espaciales y las WLAN de alta velocidad de la banda 5 250-5 350 MHz

1 Introducción

Este Anexo presenta los resultados de tres análisis de compartición en la banda 5 250-5 350 MHz entre los sensores activos a bordo de vehículos espaciales y las WLAN de alta velocidad, o RLAN. El primer estudio, presentado en el § 2 de este Anexo, utiliza para las RLAN las características de las clases B y C de la RLAN de alto rendimiento (HIPERLAN) tipo 1 y las de la HIPERLAN tipo 2, y para el SAR las características SAR4. En este estudio, la compartición de la banda 5 250-5 350 MHz con SAR4 sólo es posible para las HIPERLAN tipo 1 clase B e HIPERLAN tipo 2 interiores, pero dicha compartición no es posible para la HIPERLAN tipo 1 clase C ni para ningún tipo de HIPERLAN diseñada para funcionar en exteriores con las características técnicas que constituyen la hipótesis del estudio.

El segundo estudio, presentado en el § 3 de este Anexo, utiliza tres tipos de RLAN, la RLAN1, la RLAN2 y la RLAN3, y utiliza para los SAR las características SAR2, SAR3 y SAR4. En este estudio, con un único transmisor instalado en el exterior, la interferencia del transmisor de la WLAN de alta velocidad RLAN1 superaba el nivel admisible para SAR4, la interferencia del transmisor de la WLAN de alta velocidad RLAN2 superaba los niveles admisibles de SAR3 y SAR4, y la interferencia del transmisor de la WLAN de alta velocidad RLAN3 superaba el nivel admisible de SAR4. Para la instalación interior/exterior de RLAN es viable la RLAN1, suponiendo

que sólo haya 12 transmisores activos por km² dentro del SAR (estampa) y un canal de frecuencia única para la RLAN1, a compartir con SAR2, SAR3 y SAR4, pero no es viable para la RLAN2, con arreglo a la hipótesis de 1 200 transmisores activos por espacio de oficinas y 14 canales distribuidos en una banda de 330 MHz, a compartir con SAR2, SAR3 y SAR4. Para una instalación interior y considerando la interferencia sobre los SAR procedente de WLAN de alta velocidad de la configuración RLAN3, el análisis muestra que cualquier densidad superficial inferior a 37-305 transmisores/km²/canal, ofrecerá niveles de interferencia aceptables de las LAN en los SAR, dependiendo de la relación *S/N* de píxel del SAR de generación de imágenes, en su caso. La densidad media prevista se estima en 1 200 transmisores/zona de oficinas grande y 250 transmisores/zona industrial. La gran densidad prevista supone 14 canales de 23,6 MHz de anchura, en una banda de 330 MHz. Para la interferencia procedente de la configuración de WLAN de alta velocidad RLAN3 sobre los SAR, el análisis muestra que sólo una densidad superficial inferior a 518-4 270 transmisores/km² con 14 canales, provocará niveles de interferencia aceptables de la red de área local (LAN) en los SAR. Para la interferencia de la RLAN3 sobre SAR2 y SAR4, esto correspondería aproximadamente a 3-12 edificios de oficinas grandes o 15-60 zonas industriales dentro de la stampa del SAR, dependiendo de la relación *S/N* de píxel del SAR.

El tercer estudio, presentado en el § 4 de este Anexo, utiliza para las RLAN las características de la HIPERLAN tipo 1, que son más críticas, y utiliza las características del altímetro que se muestran en el Cuadro 2. El funcionamiento del altímetro de radar con una anchura de banda de 320 MHz centrada en 5,3 GHz es compatible con las HIPERLAN.

El cuarto estudio, presentado en el § 5 de este Anexo, utiliza para las RLAN las características de la HIPERLAN tipo 2 y utiliza además las características de dispersómetro que recoge el Cuadro 3. El funcionamiento del dispersómetro en torno a 5,3 GHz es compatible con las HIPERLAN funcionando en interiores.

2 Estudio de las HIPERLAN tipos 1 y 2 y de los SAR

2.1 Características técnicas de estos dos sistemas

Las características técnicas de las WLAN utilizadas en el análisis de compartición son las correspondientes a las HIPERLAN tipo 1 y tipo 2, para los que el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) ha publicado en Europa las correspondientes especificaciones: EN 300 652 para el tipo 1 y TS 101 683 para el tipo 2. Los valores utilizados para otros parámetros del estudio (atenuación de los edificios, ciclo de trabajo de la actividad operacional, densidad de HIPERLAN, etc.) son los aceptados por el ETSI ERM para estos estudios en Europa.

HIPERLAN tipo 1:

Proporciona comunicaciones de RLAN de alta velocidad compatibles con LAN de cable basadas en las Normas Ethernet y Token-ring ISO 8802.3 e ISO 8802.5.

Parámetros de la HIPERLAN/1:

p.i.r.e. (alta velocidad binaria, en 23,5 MHz, baja velocidad binaria, en 1,4 MHz):

clase A: p.i.r.e. máxima 10 dBm

clase B: p.i.r.e. máxima 20 dBm

clase C: p.i.r.e. máxima 30 dBm

Separación de canales: 30 MHz

Directividad de la antena: omnidireccional

Mínima sensibilidad útil del receptor:	-70 dBm
Potencia de ruido del receptor (23,5 MHz):	-90 dBm
C/I para BER 10^{-3} a alta velocidad binaria:	20 dB
Alcance efectivo (clase C):	50 m.

En este estudio sólo se contemplan las clases B (p.i.r.e. máxima 100 mW) y C (p.i.r.e. máxima 1 W).

HIPERLAN tipo 2:

Proporciona comunicaciones de RLAN compatibles con LAN de cable basadas en las Normas ATM e IP.

Parámetros de la HIPERLAN/2:

p.i.r.e.:	0,2 W (en la banda 5 250-5 350 MHz)
Anchura de banda del canal:	16 MHz
Separación de canales:	20 MHz
Directividad de la antena:	omnidireccional
Mínima sensibilidad útil del receptor:	-68 dBm (a 54 Mbit/s) a -85 dBm (a 6 Mbit/s)
Potencia de ruido del receptor (16 MHz):	-93 dBm
C/I :	8-15 dB
Alcance eficaz:	30-80 m.

En los países europeos, en la banda 5 250-5 350 MHz, la p.i.r.e. se limita a 200 mW y la utilización de HIPERLAN sólo está permitida cuando se cumplen las siguientes características obligatorias:

- control de potencia del transmisor (TPC) para obtener un factor de reducción de 3 dB como mínimo;
- selección dinámica de frecuencia (DFS, *dynamic frequency selection*) asociada al mecanismo de selección de canal necesario para proporcionar una distribución uniforme de la carga de las HIPERLAN en un mínimo de 330 MHz.

Actualmente la HIPERLAN/1 no soporta estas dos características.

La DFS no sólo proporciona una distribución uniforme de la carga sino que permite que cada uno de los sistemas HIPERLAN detecte la interferencia procedente de otros sistemas y sea por tanto capaz de evitar el funcionamiento en el mismo canal con otros sistemas, principalmente con sistemas de radar. El sistema detecta el canal que está libre para ser utilizado y conmuta al mismo automáticamente. Esto permite que un gran número de sistemas HIPERLAN funcionen en el mismo entorno de oficina.

Hay que observar que los números consignados en los escenarios de instalación se basan en la hipótesis de disponibilidad de toda una banda de 330 MHz para las WLAN. Suponiendo que esta anchura de banda esté disponible en dos sub-bandas (5 150-5 350 MHz y 130 MHz por encima de 5 470 MHz) y supuestas la separación de canal y la necesidad de crear una banda de guarda en los límites de las dos sub-bandas, el número de canales supuesto utilizado en este estudio es 8 para el tipo 1 y 14 para el tipo 2.

Otros parámetros de HIPERLAN utilizados en este estudio son los aceptados por el ETSI:

- atenuación media de los edificios hacia los instrumentos SETS: 17 dB;
- relación activa/pasiva: 5%;
- porcentaje de utilización en exteriores: 15%;
- escenarios de instalación: 1 200 sistemas para grandes edificios de oficinas, 250 sistemas para emplazamientos industriales.

Para los sensores activos a bordo de vehículos espaciales se toman las características del SAR del Anexo 1 de esta Recomendación. El tipo SAR4 es el que se toma de ejemplo en el análisis de la interferencia procedente de las HIPERLAN sobre el SAR, pero pueden obtenerse resultados análogos con los demás tipos. Los SAR tipos 2-4 se han utilizado para el análisis de la interferencia de los SAR sobre la HIPERLAN.

2.2 Análisis de compartición (desde la WLAN hacia el SAR)

El análisis de compartición se recoge en el Cuadro 4 para los tres casos considerados: HIPERLAN tipo 1 (clase B o clase C) y tipo 2.

Supuesta la densidad de HIPERLAN prevista (1 200 sistemas para un gran edificio de oficinas y 250 para emplazamientos industriales) los casos de sólo exterior y combinación interior/exterior no representan un escenario de compartición viable en ninguno de los tres casos considerados.

Sólo en el caso interior, la compartición no es viable para el tipo 1 clase C de alta potencia, mientras que los casos correspondientes al tipo 1 clase B y al tipo 2 requieren ser analizados más detenidamente.

De hecho, el límite de 440 sistemas indicados en el Cuadro 4 para el tipo 2 interior sólo corresponde a un canal. Considerando el mecanismo DFS descrito anteriormente, se puede establecer la hipótesis de que los sistemas HIPERLAN tipo 2 pueden distribuirse a lo largo de los 14 canales disponibles, obteniéndose un límite superior teórico de 6 160 sistemas en los 76,5 km² de la estampa del SAR. El tipo 1 clase B proporciona un límite superior de 5 208 sistemas.

CUADRO 4

Capacidad admisible de la HIPERLAN activa en los canales compartidos con el SAR4

Tipo de HIPERLAN	Tipo 1/Clase B		Tipo 1/Clase C		Tipo 2	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Potencia máxima transmitida (W)	0,1	-10	1	0	0,2	-7
Efecto del TPC en promedio	No disponible		No disponible			-3
Distancia (km) y atenuación en el espacio libre	425,7	-159,5	425,7	-159,5	425,7	-159,5
Atenuación adicional en el trayecto de transmisión (dB):						
– Exclusivamente en exteriores		0		0		0
– Exclusivamente en interiores		-17		-17		-17
– Combinado (15% en exteriores)		-7,8		-7,8		-7,8
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)		0		0		0

CUADRO 4 (Fin)

Tipo de HIPERLAN	Tipo 1/Clase B		Tipo 1/Clase C		Tipo 2	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Ganancia de la antena, en recepción (dB)		42,7		42,7		42,7
Atenuación de polarización (dB)		-3		-3		-3
Umbral de interferencia del SAR ($I/N = -6$ dB), (dB(W/Hz))		-205,4		-205,4		-205,4
Potencia recibida (dB(W/canal)) (canal: 23,5 MHz tipo 1/16 MHz tipo 2):						
– Sólo en exteriores		-129,8		-119,8		-129,8
– Sólo en interiores		-146,8		-136,8		-146,8
– Combinada (15% en exteriores)		-137,6		-127,6		-137,6
Potencia recibida (dB(W/Hz)):						
– Sólo en exteriores		-203,5		-193,5		-201,8
– Sólo en interiores		-220,5		-210,5		-218,8
– Combinada (15% en exteriores)		-211,3		-201,3		-209,6
Margen (dB/(Hz ⁻¹)):						
– Sólo en exteriores		-1,9		-11,9		-3,6
– Sólo en interiores		15,1		5,1		13,4
– Combinada (15% en exteriores)		5,9		-4,1		4,2
Estampa de la antena del SAR (km ²)	76,5	18,8	76,5	18,8	76,5	18,8
Densidad admisible de HIPERLAN activas (/km ² /canal):						
– Sólo en exteriores	0,0085	-20,7	0,00085	-30,7	0,0058	-22,4
– Sólo en interiores	0,43	-3,7	0,043	-13,7	0,29	-5,4
– Combinada (15% en exteriores)	0,051	-12,9	0,0051	-22,9	0,034	-14,6
Relación activas/pasivas	5%	13	5%	13	5%	13
Densidad total (activas + pasivas) admisible (/km ² /canal) de HIPERLAN:						
– Sólo en exteriores	0,17	-7,7	0,017	-17,7	0,11	-9,4
– Sólo en interiores	8,51	9,3	0,851	-0,7	5,75	7,6
– Combinada (15% en exteriores)	1,02	0,1	0,102	-9,9	0,69	-1,6
Número máximo de HIPERLAN activas + pasivas por canal dentro de la estampa del SAR (76,5 km ²):						
– Sólo en exteriores	13		1		8	
– Sólo en interiores	651		65		440	
– Combinada (15% en exteriores)	78		8		53	

Estos valores corresponden a cinco grandes edificios de oficinas aproximadamente en los 76,5 km² de la estampa del SAR y, aunque lejos de ser el caso más desfavorable, puede considerarse una hipótesis razonable para las zonas urbanas y suburbanas.

Por consiguiente se puede concluir que los dos servicios pueden compartir la banda, aunque sea sólo en parte, cuando los sistemas con la HIPERLAN tipo 2 o los sistemas tipo 1 clase B están instalados en interiores.

Los mecanismos DFS proporcionarán una distribución uniforme de la carga entre todos los canales disponibles. Si la selección de canal no es aleatoria, esta hipótesis será probablemente incorrecta y habrán de revisarse las conclusiones expuestas.

2.3 Análisis de compartición (desde los SAR hacia las WLAN de alta velocidad)

El primer paso del análisis de la interferencia potencial procedente de los SAR sobre las WLAN de alta velocidad es la determinación de la potencia de la señal procedente de los lóbulos laterales de los SAR a bordo de vehículos espaciales sobre la superficie terrestre. Para este análisis se ha utilizado la ganancia media de lóbulo lateral ya que dichos lóbulos laterales proporcionan una estampa sensiblemente más amplia que la ganancia de cresta lo que resultará en interferencia de mayor duración. A continuación, se determina el umbral del receptor de la WLAN de alta velocidad. Después, puede calcularse el margen de interferencia comparando el nivel de interferencia del SAR con el umbral de interferencia de la LAN. El Cuadro 5 muestra el margen de interferencia para los lóbulos laterales de los SAR2-4 sobre las WLAN de alta velocidad instaladas en exteriores en la banda 5 250-5 350 MHz. En este Cuadro se puede observar la existencia de un margen positivo que se traduciría en un escenario favorable a la compartición.

CUADRO 5

Lóbulos laterales de los SAR sobre las WLAN de alta velocidad

Parámetro	SAR2		SAR3		SAR4	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Potencia transmitida (W)	4 800,00	36,81	1 700,00	32,30	1 700,00	32,30
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
Ganancia de la antena, en recepción (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Longitud de onda (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Distancia (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Reducción de la anchura de banda (dB)	-12,87	-12,87	-12,87	-12,87	-3,98	-3,98
Potencia recibida (dBW)		-144,11		-145,09		-136,20
Umbral de interferencia de las HIPERLAN		-115,00		-115,00		-115,00
Margen (dB)		29,11		30,09		21,20

No obstante, en los SAR2-4 la ganancia de cresta de las antenas es 43-47,7 dB mayor que los niveles medios del lóbulo lateral de -5 dBi. Por consiguiente, durante el sobrevuelo, que para el haz principal del SAR duraría 0,5-1,0 s, los niveles de interferencia del SAR en la superficie superarían los umbrales de interferencia de la WLAN correspondientes al caso más desfavorable (HIPERLAN tipo 2: -115 dBW). Esto se evidencia en el Cuadro 5, al tomar el margen de valores negativos.

Un modo más correcto de determinar el máximo nivel de interferencia admisible sería considerar la relación C/I , que debe ser mayor que 15 dB. Cuando los transmisores de la RLAN estén separados menos de 50 m entre sí (caso más desfavorable), el nivel de interferencia admisible

puede elevarse en 10 dB (o sea, -105 dBW en vez de -115 dBW). En el SAR4 este análisis proporciona un margen en el caso más desfavorable de $-16,5$ dB para los equipos exteriores. La utilización de instalaciones de RLAN interiores en este análisis (atenuación de 17 dB) tendría como resultado un escenario ligeramente favorable a la compartición. El periodo de repetición del SAR es de 8-10 días, aunque el SAR no está forzosamente activo en cada una de sus pasadas. Por consiguiente, una determinada zona de la superficie terrestre quedaría iluminada por el haz principal de un único SAR con una frecuencia de 0,5-1,0 s, como máximo, cada 8-10 días.

2.4 Conclusiones

El análisis de la interferencia de las WLAN sobre los SAR en la banda 5 250-5 350 MHz permite establecer tres conclusiones principales:

- Las WLAN que sólo se utilizan en interiores son compatibles con el funcionamiento de los SAR, pero el funcionamiento de las WLAN exteriores no es compatible con el funcionamiento de los SAR.
- Las WLAN interiores limitadas a una p.i.r.e. media¹ de 200 mW (o de 100 mW si no se utiliza el TPC) y un límite de densidad de p.i.r.e. media de 10 mW en cualquier banda de 1 MHz son compatibles con el funcionamiento de los SAR.
- Además de lo expuesto, los sistemas de WLAN necesitan reunir dos requisitos indispensables para alcanzar la compatibilidad con el funcionamiento de los SAR:
 - TPC que alcance un factor de reducción de 3 dB como mínimo; sin la característica TPC, la p.i.r.e. media no debería sobrepasar 100 mW en ningún canal de 20 MHz;
 - DFS asociada al mecanismo de selección de canal para proporcionar una distribución uniforme de la carga de canales de la WLAN en 330 MHz como mínimo.

El análisis de la interferencia de los SAR sobre las WLAN produce resultados favorables para las instalaciones interiores.

3 Estudio de las RLAN y de los SAR

3.1 Características técnicas de las WLAN de alta velocidad

A continuación se indican las características técnicas de las WLAN de alta velocidad típicas a 5,3 GHz correspondientes a tres configuraciones. Estas WLAN de alta velocidad se suelen denominar LAN radioeléctricas o RLAN. Las características de las configuraciones seleccionadas para el presente análisis corresponden a las que provocarían la interferencia del caso más desfavorable sobre el receptor del SAR. La información de la primera configuración, RLAN1, de WLAN de alta velocidad se obtuvo del Informe de la FCC y del Orden FCC 97-7, de fecha 9 de enero de 1997, y la información sobre las HIPERLAN del Documento 7C/54, de fecha 18 de septiembre de 1996. Estas características se resumen en el Cuadro 6. La información sobre la segunda configuración, RLAN2 de WLAN de alta velocidad se obtuvo del Space Frequency Coordination Group (SFCG)-18/45, 8-17 de septiembre de 1998. La segunda configuración,

¹ La p.i.r.e. media se refiere al promedio de la p.i.r.e. sobre la ráfaga de transmisión correspondiente al nivel máximo del control de potencia.

RLAN2, presenta un notable aumento de la potencia de los transmisores de las WLAN de alta velocidad, un aumento de la relación de uso interior/exterior y la consiguiente reducción en la atenuación media de los edificios, un aumento de la relación activa/pasiva, y un aumento de la densidad de instalaciones prevista. La información sobre la tercera configuración, RLAN3, de WLAN de alta velocidad se obtuvo del Space Frequency Coordination Group-19/39, 8-15 de septiembre de 1999 y del Documento 7C/110 «Sharing Constraints Between Spaceborne Active Sensors (SAR) and Wireless High Speed Local Area Networks in the 5 250-5 350 MHz Band (Límites a la compartición entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales (SAR) y redes de área local inalámbricas de alta velocidad en la banda 5 250-5 350 MHz)», 17 de febrero de 1999. La tercera configuración, RLAN3, se limita exclusivamente a los usos interiores, con una densidad de instalación prevista moderada.

CUADRO 6

Características técnicas de las WLAN de alta velocidad a 5,3 GHz

Parámetro	Valor		
	RLAN1	RLAN2	RLAN3
Potencia de cresta radiada (W)	0,25	1,00	0,20
Despliegue (%)	99 interior/ 1 exterior	85 interior/ 15 exterior	100 interior/ 0 exterior
Atenuación media (dB)	17,0	7,8	17,0
Polarización	Aleatoria	Aleatoria	Aleatoria
Anchura de banda (MHz)	23,6	23,6/canal (14 canales)	23,6/canal (14 canales)
Ciclo de trabajo de la interferencia sobre el SAR (%)	100	100	100
Actividad operacional (relación activa/pasiva (%))	1	5	5
Densidad media (transmisores/km ²)	12	1 200/zona de oficinas (89 000/km ² /canal)	1 200/zona de oficinas, 250/zona industrial
Umbral de interferencia (dBW)	-120	-120 indeterminado	-100

3.2 Interferencia procedente de las WLAN de alta velocidad sobre los SAR

El primer paso del análisis de la interferencia potencial de las WLAN de alta velocidad sobre los receptores SAR a bordo de vehículos espaciales consiste en determinar la potencia de la señal procedente de un solo transmisor de WLAN de alta velocidad en el SAR a bordo de un vehículo espacial. A continuación, puede calcularse el margen del interferente único comparando el nivel de interferencia con el umbral de interferencia del SAR. Conociendo la estampa del SAR, puede calcularse la densidad admisible de transmisores de WLAN de alta velocidad activas, empleando una relación de actividad conservadora para aquellos transmisores que funcionen en cualquier momento.

3.2.1 Interferencia procedente de un único transmisor de RLAN situado en exteriores

El Cuadro 7 muestra la interferencia procedente de un único transmisor RLAN de WLAN de alta velocidad en la banda 5 250-5 350 MHz para los SAR2-4. No se ha utilizado el SAR1 porque este sistema se diseñó para funcionar en la banda 5 150-5 250 MHz. Se supone que RLAN1, RLAN2 y RLAN3 utilizan una antena omnidireccional. El Cuadro 7 muestra en el SAR4 márgenes negativos para los transmisores de las WLAN de alta velocidad RLAN1, RLAN2, y RLAN3. En el SAR3, el Cuadro 7 muestra un margen positivo para los transmisores RLAN1 y RLAN3 y negativo para el de RLAN2. En el SAR2, con respecto a la interferencia procedente de RLAN1, RLAN2 y RLAN3, aparecen márgenes positivos para la interferencia de los transmisores de las tres RLAN.

CUADRO 7

Interferencia procedente de un único transmisor RLAN exterior sobre los SAR

Parámetro	SAR2		SAR3		SAR4	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Potencia transmitida (W)						
RLAN1	0,25	-6,02	0,25	-6,02	0,25	-6,02
RLAN2	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
RLAN3	0,20	-6,99	0,20	-6,99	0,20	-6,99
Atenuación de los edificios (dB)		0,00		0,00		0,00
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)		0,00		0,00		0,00
Ganancia de la antena, en recepción (dB)		43,33		44,52		44,52
Atenuación de polarización (dB)		-3,00		-3,00		-3,00
Longitud de onda (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Distancia (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Potencia recibida (dBW)						
RLAN1		-128,74		-124,03		-124,03
RLAN2		-122,72		-118,00		-118,00
RLAN3		-129,71		-124,99		-124,99
Factor de ruido (dB)		4,62		4,62		4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Anchura de banda del receptor, (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Potencia de ruido (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Umbral de interferencia del SAR ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margen (dB)						
RLAN1		8,90		4,19		-4,71
RLAN2		2,88		-1,83		-10,73
RLAN3		9,87		5,16		-3,74

3.2.2 Interferencia procedente de transmisores de RLAN instalados en interiores

El Cuadro 8 muestra la densidad admisible de WLAN de alta velocidad de configuración RLAN1 en la banda 5 250-5 350 MHz para SAR2-4. Para SAR4, el Cuadro 8 muestra que la densidad admisible de WLAN de alta velocidad RLAN1 es de 118 transmisores/km² aproximadamente y que, por debajo de ésta, el nivel de interferencia sobre el SAR4 de 40 MHz es aceptable. En base a la información de la densidad de instalaciones de HIPERLAN prevista consignada en el Documento 7C/54, de 18 de septiembre de 1996, se estimó que la densidad media de HIPERLAN en Europa era de 12 transmisores/km² en aquella época. Se preveía que la densidad en las zonas metropolitanas y de alta densidad de población sería superior a la media. El Cuadro 9 muestra la densidad admisible de WLAN de alta velocidad de configuración RLAN2 en la banda 5 250-5 350 MHz para SAR2-4. Para SAR4, el Cuadro 9 muestra que la densidad admisible de WLAN de alta velocidad RLAN2 es de 0,2 transmisores/km² aproximadamente, o lo que es lo mismo un 1 transmisor/5 km², y que por debajo de este valor el nivel de interferencia sobre el SAR4 de 40 MHz resulta aceptable. Este valor tan reducido de la densidad admisible debe compararse con la densidad de instalaciones prevista en el Documento SFCG-18/45, 8-17 de septiembre de 1998, de 1 200 transmisores/zona de oficinas; ha de considerarse asimismo la capacidad de 89×10^3 /km²/canal de la RLAN2 interior, correspondiente a distancias de separación de 0,5 m. La gran densidad prevista utiliza 14 canales, de 23,6 MHz de anchura cada uno de ellos, distribuidos en una banda de 330 MHz. El Cuadro 10 muestra la densidad admisible de WLAN de alta velocidad de la configuración RLAN3 en la banda 5 250-5 350 MHz para SAR2-4. Para SAR4, el Cuadro 10 muestra que la densidad admisible de WLAN de alta velocidad RLAN3 es de 37 transmisores/km²/canal, aproximadamente, y que por debajo de ésta el nivel de interferencia sobre el SAR4 de 40 MHz es aceptable. La elevada densidad prevista utiliza 14 canales, de 23,6 MHz de anchura, distribuidos en una banda de 330 MHz. Para 14 canales, la densidad admisible es por consiguiente de 518 transmisores/km². Esta densidad admisible tan reducida ha de compararse con la densidad de instalaciones prevista en el Documento 7C/110 y de 1 200 transmisores/zona de oficinas grande y 250 transmisores/zonas industriales. Por consiguiente, para el SAR4, la densidad admisible correspondería a menos de una zona de oficinas grande y aproximadamente a dos zonas industriales, que no parece ajustada a la realidad. Para SAR2 y SAR4, la densidad admisible con 14 canales sería de 4 270 y 3 990 transmisores, respectivamente. Esto correspondería, aproximadamente, a tres grandes edificios de oficinas o a 15 zonas industriales, lo que puede constituir una hipótesis más razonable para las zonas urbanas y suburbanas.

Para la generación de imágenes de SAR con relaciones S/N de 8 dB o mayores, la relación I/N puede ser de 0 dB sin que llegue a degradarse la desviación típica de la potencia del píxel más de 10%. Esto aumenta la densidad admisible del transmisor en un factor de 4. Para la interferencia de la RLAN3 sobre el SAR2 y el SAR4, esto correspondería aproximadamente a 12 edificios de oficinas grandes o a 60 zonas industriales dentro de la estampa del SAR. No obstante, para los SAR interferométricos, la relación I/N debe ser inferior a -6 dB, independientemente de la relación S/N .

CUADRO 8

Interferencia de las WLAN de alta velocidad RLAN1 sobre los SAR

Parámetro	SAR2		SAR3		SAR4	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Potencia transmitida (W)	0,25	-6,02	0,25	-6,02	0,25	-6,02
Atenuación de los edificios (dB)		-17,00	17,00	-17,00	17,00	-17,00
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ganancia de la antena, en recepción (dB)		43,33	44,52	44,52	44,52	44,52
Atenuación de polarización (dB)		-3,00	3,00	-3,00	3,00	-3,00
Longitud de onda (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Distancia (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Potencia recibida (dBW)		-145,74		-141,03		-141,03
Factor de ruido (dB)		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Anchura de banda del receptor (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Potencia de ruido (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Umbral de interferencia del SAR ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margen (dB)		25,90		21,19		12,29
Estampa del SAR (km^2)	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Potencia media superficial de las HIPERLAN ($\text{dB(W/km}^2\text{)}$)		3,88		3,59		-5,31
Transmisores activos/ km^2	9,78		9,14		1,18	
Transmisores activos/ km^2 con índice de actividad del 1%	978,40		913,56		117,88	

CUADRO 9

Interferencias de las WLAN de alta velocidad RLAN2 sobre los SAR

Parámetro	SAR2		SAR3		SAR4	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Potencia transmitida (W)	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
Atenuación de los edificios (dB)		-7,80	7,80	-7,80	7,80	-7,80
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ganancia de la antena, en recepción (dB)		43,33	44,52	44,52	44,52	44,52
Atenuación de polarización (dB)		-3,00	3,00	-3,00	3,00	-3,00
Longitud de onda (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Distancia (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Potencia recibida (dBW)		-130,52		-125,80		-125,80
Factor de ruido (dB)		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Anchura de banda del receptor (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Potencia de ruido (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Umbral de interferencia del SAR ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margen (dB)		10,68		5,97		-2,93
Estampa del SAR (km^2)	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Potencia media superficial de las HIPERLAN ($\text{dB(W/km}^2\text{)}$)		-11,34		-11,63		-20,53
Transmisores activos/ km^2	0,07		0,07		0,01	
Transmisores activos/ km^2 con índice de actividad del 5%	1,47		1,37		0,18	

Para una densidad de RLAN3 autolimitada, de modo que las WLAN de alta velocidad interfieran entre sí más allá de lo admisible, se supondrá que las WLAN de alta velocidad ocupan 14 canales, de 23,6 MHz de amplitud, distribuidos en una banda de 330 MHz, y que los transmisores pueden llegar a aproximarse a 0,5 m, lo que equivale a una densidad posible de $89 \times 10^3/\text{km}^2/\text{canal}$ en zonas de reducido tamaño correspondientes a la zona de oficinas grandes. Aunque el receptor de la LAN ya no requiere que la interferencia sea inferior a -100 dBW, la relación C/I debe ser mayor de 20 dB. Esto permite que los transmisores funcionen a menos de 0,5 m unos de otros sin interferirse mutuamente.

CUADRO 10

Interferencia procedente de las WLAN de alta velocidad RLAN3 sobre los SAR

Parámetro	SAR2		SAR3		SAR4	
	Valor	dB	Valor	dB	Valor	dB
Potencia transmitida (W)	0,20	-6,99	0,20	-6,99	0,20	-6,99
Atenuación de los edificios (dB)		-17,00		-17,00		-17,00
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)		0,00		0,00		0,00
Ganancia de la antena, en recepción (dB)		43,33		44,52		44,52
Atenuación de polarización (dB)		-3,00		-3,00		-3,00
Longitud de onda (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Distancia (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Potencia recibida (dBW)		-146,71		-141,99		-141,99
Factor de ruido (dB)		4,62		4,62		4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Anchura de banda del receptor (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Potencia de ruido (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Umbral de interferencia del SAR ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margen (dB)		26,87		22,16		13,26
Estampa del SAR (km ²)	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Potencia media superficial de las HIPERLAN (dB(W/km ²))		4,85		4,56		-4,34
Transmisores activos/km ² /canal	15,29		14,27		1,84	
Transmisores activos/km ² /canal con índice de actividad del 5%	305,75		285,49		36,84	

3.3 Interferencia procedente de los SAR sobre las WLAN de alta velocidad

El primer paso del análisis de la interferencia potencial procedente de los SAR a bordo de vehículos espaciales en WLAN de alta velocidad consiste en determinar la potencia de la señal procedente de un SAR a bordo de un vehículo espacial sobre la superficie terrestre. A continuación, se determina el umbral del receptor de la WLAN de alta velocidad. Después, se puede calcular el margen de interferencia comparando el nivel de interferencia del SAR con el umbral de interferencia de la LAN. Para los SAR1-4, las ganancias de antena de cresta son 40-50 dB superiores a los niveles medios de lóbulo lateral de -5 dBi. Por consiguiente, durante la duración del sobrevuelo, que para

el haz principal del SAR sería de 0,5-1,0 s aproximadamente, los niveles de interferencia del SAR en la superficie superarían considerablemente los umbrales de interferencia de la RLAN1. No obstante, en la RLAN2, el nivel de -120 dBW ya no coincide con el nivel de interferencia admisible máxima, que se sustituiría por una C/I superior a 20 dB, que en el caso de transmisores separados entre sí 0,5 m, puede elevar el nivel de interferencia admisible en 50-80 dB.

La situación correspondiente a la RLAN3 es semejante a la de la RLAN2. Para estos SAR2-4 típicos, las ganancias de cresta de la antena son 14-38 dB superiores a los niveles medios de lóbulo lateral de -5 dBi. Por consiguiente durante el sobrevuelo, que para el haz principal del SAR duraría 0,5-1,0 s, aproximadamente, los niveles de interferencia del SAR en la superficie superarían considerablemente los umbrales de interferencia de la RLAN3. No obstante, el nivel de -120 dBW para la RLAN3 ya no es el máximo nivel de interferencia admisible prefiriéndose ahora que C/I sea superior a 20 dB, que en el caso de transmisores separados entre sí 0,5 m puede elevar el nivel de interferencia admisible en 50-80 dB. El periodo de repetición del SAR es de 8-10 días, aunque el SAR no está forzosamente activo en cada pasada. Por consiguiente, una determinada zona terrestre quedaría iluminada por el haz del SAR con una frecuencia de 0,5-1,0 s, como máximo, cada 8-10 días.

3.4 Conclusión

Esta Recomendación presenta un análisis de la interferencia potencial entre una WLAN de alta velocidad de configuración RLAN3 y los radares de apertura sintética a bordo de vehículos espaciales en la banda 5 250-5 350 MHz para el caso 1) un único transmisor RLAN1-3 instalado en el exterior y 2) una cierta densidad de instalaciones RLAN3 interiores. Con un transmisor único instalado en el exterior, la interferencia del transmisor de la WLAN de alta velocidad RLAN1 superaba el nivel admisible del SAR4, la interferencia del transmisor de la WLAN de alta velocidad RLAN2 superaba los niveles admisibles de SAR3 y SAR4, y la interferencia del transmisor de la WLAN de alta velocidad RLAN3 superaba el nivel admisible del SAR4.

En cuanto a la interferencia de las WLAN de alta velocidad de configuración RLAN1 sobre los SAR, el análisis pone de manifiesto que las densidades superficiales inferiores a 32-128 transmisores/km² proporcionarían niveles de interferencia aceptables sobre los SAR, en función de la relación S/N de los píxels del SAR. La densidad media prevista para Europa se estimó en 12 transmisores/km² tan solo, en el pasado. Con una densidad de 0,32 transmisores activos/km² (densidad de 32 transmisores activos/km² con una relación de actividad del 1%), una WLAN de alta velocidad típica (potencia del transmisor de 0,25W) instalada en exteriores sufriría niveles de autointerferencia de -120 dBW, nivel que para las WLAN de alta velocidad RLAN1 constituye su umbral de interferencia. Para la interferencia procedentes de las WLAN de alta velocidad de configuración RLAN2 sobre los SAR, el análisis muestra que sólo con una densidad superficial inferior a 0,2-1,5 transmisores/km² las LAN ofrecerían unos niveles de interferencia aceptables sobre los SAR, en función de la relación S/N de los píxels del SAR. La densidad media prevista actual es de 1 200 transmisores/zona de oficinas, hasta 89×10^3 /km²/canal. La gran densidad prevista supone 14 canales de 23,6 MHz de amplitud, distribuidos en una banda de 330 MHz. Para una instalación interior y, considerando la interferencia procedente de las WLAN de alta velocidad de configuración RLAN3 sobre los SAR, el análisis muestra que cualquier densidad superficial inferior a 37-305 transmisores/km²/canal proporcionará niveles de interferencia aceptables sobre los SAR, en función de la relación S/N de los píxels del SAR de generación de imágenes, cuando se trate de un SAR de generación de imágenes. La densidad media prevista se estima en 1 200 transmisores/zona de oficinas grande y 250 transmisores/zona industrial. La gran densidad prevista supone 14 canales de 23,6 MHz de amplitud, distribuidos en una banda de 330 MHz. Para la interferencia de las WLAN de alta velocidad de configuración RLAN3 sobre los SAR, el análisis

pone de manifiesto que sólo con una densidad superficial inferior a 518 a 4 270 transmisores/km² en 14 canales, producirán las LAN niveles de interferencia aceptables sobre el SAR. Para la interferencia de la RLAN3 sobre el SAR2 y el SAR4, esto correspondería aproximadamente a un número comprendido entre 3 y 12 edificios de oficinas grandes o entre 15 y 60 zonas industriales dentro de la estampa del SAR, en función de la relación *S/N* de píxel del SAR.

Para la interferencia procedente de los SAR a bordo de vehículos espaciales en WLAN de alta velocidad RLAN1 en la banda 5 250-5 350 MHz, los niveles de interferencia del SAR en la superficie correspondiente a los lóbulos laterales son 14-38 dB inferiores al umbral de interferencia de la LAN. Para la interferencia de cresta de las antenas de los SAR durante el sobrevuelo, que para el haz principal del SAR duraría 0,5-1,0 s. Los niveles de interferencia del SAR en la superficie superarían considerablemente los umbrales de interferencia de la RLAN1 en 10-30 dB. No obstante, para la RLAN2 y la RLAN3, los niveles de -120 dBW y -100 dBW, respectivamente, ya no serían los máximos niveles de interferencia admisibles, que se sustituirían por una *C/I* superior a 20 dB, que en el caso de transmisores separados entre sí 0,5 m puede elevar el nivel de interferencia admisible en 50-80 dB, de modo que el SAR, incluso para su haz principal, puede estar por debajo del umbral de interferencia de las LAN. Dado que el periodo de repetición del SAR es de 8-10 días, y que el SAR no está forzosamente activo en cada pasada, una zona determinada de la superficie terrestre quedaría iluminada por el haz del SAR con una frecuencia de 0,5-1,0 s, como máximo, cada 8-10 días.

4 Estudio de las RLAN y de los altímetros

4.1 Interferencia de las RLAN sobre los altímetros

A los efectos del presente análisis se considera una RLAN del tipo HIPERLAN situada dentro del lóbulo principal del altímetro.

El altímetro tiene una anchura de banda ampliada de 320 MHz, mientras que las HIPERLAN tienen una anchura de banda de canal que va de 16 MHz (en el tipo 2) a 23,5 MHz (en el tipo 1) situadas dentro de la anchura de banda del altímetro. La máxima p.i.r.e. transmitida por la HIPERLAN ($P_h G_h$) es de 30 dBm (en el tipo 1) y 23 dBm (en el tipo 2). La ganancia de la antena del altímetro, G_0 , es 32,2 dB, G_a es la ganancia de la antena fuera del eje dirigida hacia la HIPERLAN, con una atenuación de entrada adicional, L , de 1 dB. El altímetro apunta hacia el nadir, con una antena cuyo tamaño es de 1,2 m. R , es la distancia del altímetro a la HIPERLAN.

La potencia recibida en el altímetro procedente de una HIPERLAN en el eje de puntería del SAR (o sea, $G_a = G_0$) viene dada por:

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (1)$$

Utilizando los parámetros, más estrictos, de la HIPERLAN Tipo 1 (definidos en el § 2.2), se obtiene un valor de $P_r = -108,3$ dBm.

El umbral de interferencia del altímetro es -88 dBm; cabe deducir por tanto que el altímetro puede resistir el funcionamiento simultáneo de varias HIPERLAN, ya que existe un margen de 20,3 dB. Además, el altímetro se ha diseñado principalmente para efectuar mediciones sobre los océanos y no proporciona datos con precisión cuando hay una cantidad de tierra importante a la vista del haz de su antena. Este análisis permite establecer la conclusión inequívoca de que el altímetro no se verá influido por el funcionamiento de las HIPERLAN.

Para terminar puede calcularse el número de HIPERLAN en la estampa de -3 dB que puede tolerar el altímetro funcionando sobre tierra. Este método se describe en el § 4.1.1 de esta Recomendación.

Se obtiene un límite de 586 HIPERLAN instaladas (en exteriores) a 4 664 (en interiores) para no interferir sobre el altímetro. Los márgenes suplementarios obedecen al hecho de que:

- No se hayan tenido en cuenta la atenuación de polarización ni la atenuación adicional de propagación (3 dB aproximadamente).
- No se hayan tenido en cuenta técnicas de reducción tales como el control de potencia del transmisor (que podrían añadir un margen de 3 dB como mínimo).
- Se haya exagerado en la simulación la ganancia del altímetro en dirección a los dispositivos de la HIPERLAN.

Además, se prevé que lo normal será que sólo se instalen sistemas HIPERLAN tipo 2 en la banda de frecuencias utilizadas por los altímetros, lo que contribuirá a mejorar la situación gracias a la menor p.i.r.e. máxima (200 mW).

Por consiguiente se puede concluir que el altímetro no sufrirá la interferencia procedente de las HIPERLAN cuando se utilice sobre los océanos. Ahora bien, si se utilizase sobre tierra, la situación dependería en parte del conjunto de parámetros seleccionados finalmente para la HIPERLAN. El margen previsto podría permitir la compartición incluso cuando los altímetros se encontrasen funcionando próximos a tierra. Sólo el funcionamiento de las HIPERLAN de interiores y de las de tipo 2 mejorarían sensiblemente el entorno de compartición.

4.1.1 Estimación del número de RLAN en la estampa de -3 dB de un altímetro

En este análisis se considera una HIPERLAN tipo 1 en el lóbulo principal del altímetro.

El altímetro tiene una anchura de banda ampliada de 320 MHz, mientras que la HIPERLAN tiene una anchura de banda de 23,5 MHz que cae dentro de la anchura de banda del altímetro. La máxima p.i.r.e transmitida por la HIPERLAN ($P_h G_h$) es 30 dBm. La ganancia de la antena del altímetro, G_0 , es 32,2 dB, G_a es la ganancia de la antena fuera del eje en dirección a la HIPERLAN, con una atenuación adicional de entrada, L , de 1 dB. El altímetro apunta hacia el nadir, el tamaño de la antena es 1,2 m. R , es la distancia del altímetro a la HIPERLAN.

La potencia recibida en el altímetro procedente de una HIPERLAN situada en el eje de puntería del SAR (o sea, $G_a = G_0$) viene dada por:

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (2)$$

De aquí se obtiene un valor de $P_r = -108,3$ dBm.

El umbral de interferencia del altímetro es -88 dBm; se deduce por tanto que el altímetro puede resistir el funcionamiento simultáneo de varias HIPERLAN, ya que existe un margen de $20,3$ dB. Además, el altímetro se ha diseñado principalmente para efectuar mediciones sobre los océanos y no proporciona datos con precisión cuando hay una cantidad de tierra importante a la vista del haz de su antena. De este análisis se concluye sin lugar a duda que el altímetro no se verá influido por el funcionamiento de las HIPERLAN.

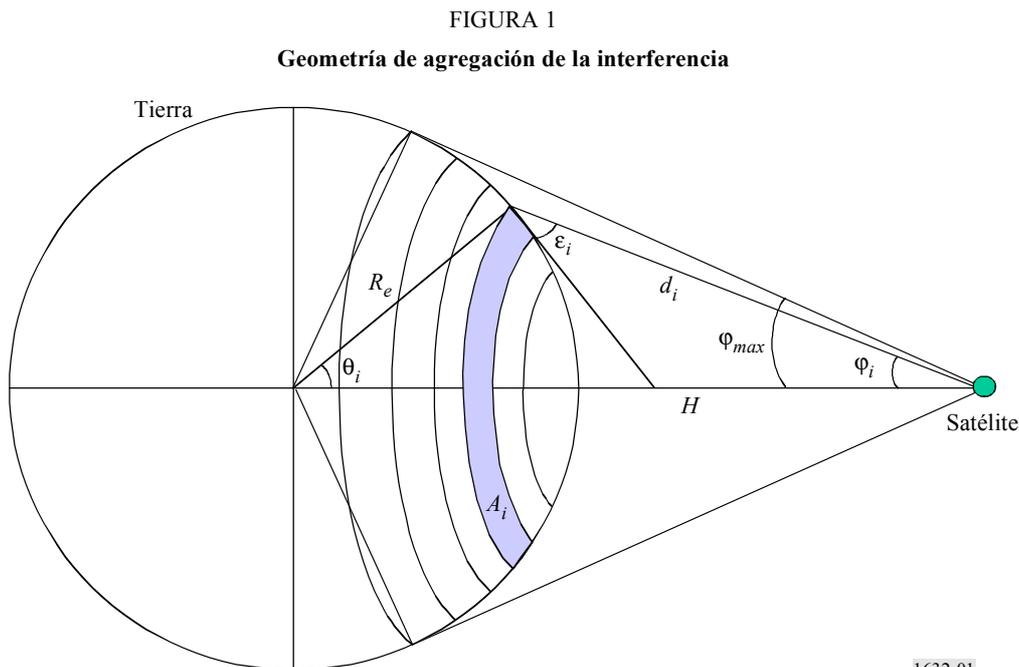
Para terminar, puede calcularse el número de HIPERLAN situadas en la estampa de -3 dB que puede tolerar el altímetro funcionando sobre tierra; este cálculo no es inmediato puesto que una pequeña variación del ángulo φ del eje de puntería del altímetro, hará que varíen la distancia al suelo, la ganancia y el elemento superficie interceptado a nivel del suelo.

Suponiendo una cierta densidad de dispositivos HIPERLAN, p.e. D , el número total de dispositivos HIPERLAN vistos por un satélite (suponiendo que los dispositivos están uniformemente distribuidos en la superficie terrestre) viene dado por $N = D \times A$, siendo A la estampa de -3 dB del altímetro. Como los dispositivos no son equidistantes respecto al satélite, la superficie terrestre visible se divide en franjas superficiales concéntricas (como en la Fig. 1), de modo que se puede suponer que todos los dispositivos HIPERLAN contenidos en la i -ésima franja superficial están a la misma distancia, d_i , con respecto al satélite y se ven bajo el mismo ángulo del nadir, θ_i , y el mismo ángulo de elevación, ϵ_i . El número de dispositivos HIPERLAN de la i -ésima franja viene dado por:

$$N_i = A_i \times (N/A) = A_i \times D \tag{3}$$

siendo:

$$A_i = 2\pi R_e^2 \times [\cos(\theta_{i-1}) - \cos(\theta_i)] \quad \text{para } \theta_i > \theta_{i-1} \tag{4}$$



La potencia de la interferencia HIPERLAN agregada, I , en el altímetro viene pues dada por la suma del i -ésimo componente I_i como se indica a continuación:

$$I(W) = \sum_i I_i = \sum_i N_i \cdot \frac{1e(p.i.r.e./10)}{(4\pi d_i f_0/c)^2} \cdot G(\varphi_i) \quad (5)$$

siendo:

- p.i.r.e.: potencia isotrópica eficaz radiada (dBW)
- d_i : distancia entre el satélite y el interferente situado en la Tierra
- f_0 : frecuencia central de RF
- $G(\varphi_i)$: ganancia receptora de la antena del altímetro del satélite que depende del ángulo nadiral, φ_i , es decir del ángulo entre la proyección del satélite sobre la superficie terrestre y la franja considerada.

A tal efecto, se ha llevado a cabo el siguiente cálculo numérico: se ha supuesto una densidad de potencia por metro cuadrado constante a nivel del suelo para la HIPERLAN, y una ganancia de antena para el altímetro que varía como $G_a = G_0 (\text{sen}(\varphi)/\varphi)^2$, siendo φ el ángulo entre la vertical y la dirección del satélite a la HIPERLAN, que constituye el caso más desfavorable ya que el lóbulo del altímetro estará mucho más bajo.

A continuación se ha calculado la integral de la potencia recibida a nivel del altímetro en la estampa de -3 dB obteniéndose que la potencia media admisible por el altímetro es -60 dBm/m², es decir 0 dBm/km² ($D \times p.i.r.e.$).

Como los altímetros apuntan hacia el nadir se incluye una atenuación adicional del trayecto de 20 dB (debida a la atenuación introducida por los tejados y los techos) cuando se calcula la interferencia de las HIPERLAN interiores. Al considerar el caso de HIPERLAN cuyo funcionamiento se limita a interiores, se supone que en cualquier instante el 1% de los dispositivos HIPERLAN estarán funcionando en el exterior, lo que supone un factor de atenuación global adicional de 17 dB. En las HIPERLAN a las que se permite funcionar en el exterior, se supone que el 15% de sus dispositivos se encuentran en el exterior en un determinado instante, lo que supone un factor de atenuación adicional de 8 dB. En ambos casos se supone que el 5% de las HIPERLAN se encuentran transmitiendo simultáneamente.

CUADRO 11

Cálculo del número de terminales en la estampa de -3 dB

	Interiores	Exteriores
Densidad de potencia ($D \times p.i.r.e.$) (dBm/km ²)	0	0
p.i.r.e. (dBm)	30	30
Porcentaje de las HIPERLAN que funcionan en exteriores (%)	1	15
Margen adicional (dB)	17	8
Terminales activos/km ²	0,05	0,063
Terminales activos (%)	5	5
Número de terminales/km ²	1,002	0,126
Número de terminales en la estampa de -3 dB	4 664	586

Por consiguiente se obtiene un intervalo de 586 (usos exteriores) a 4 664 (usos interiores) HIPERLAN instaladas dentro de la estampa de -3 dB como límite para no interferir con el altímetro.

4.2 Interferencia de los altímetros en las RLAN

En este caso se considera un factor de reducción B_h/B_a ya que la anchura de banda del altímetro B_a es muy superior a la de las HIPERLAN B_h . El valor de B_a es 320 MHz y el de B_h 23,5 MHz (tipo 1, caso más desfavorable) o 16 MHz (tipo 2), por lo que se obtiene un factor de reducción de 11,34 dB para el tipo 1 y de 13 dB para el tipo 2. La ganancia de la antena de la HIPERLAN G_h en sentido vertical es de 0 dB.

La potencia recibida por una HIPERLAN procedente del altímetro es:

$$P_r = \frac{P_a G_a G_h \lambda^2 B_h}{(4\pi)^2 R^2 L B_a} \quad (6)$$

La potencia transmitida por el altímetro a la HIPERLAN será entonces, en el caso más desfavorable (por ejemplo, con el haz principal del altímetro, distancia mínima de 1 347 km, HIPERLAN exterior tipo 1), $-103,64$ dBm.

Este caso (haz principal del altímetro sobre los lóbulos laterales de la HIPERLAN en la vertical) ha de considerarse como el más desfavorable, ya que los lóbulos del altímetro disminuyen muy rápidamente con el ángulo del eje de puntería (su nivel de -20 dB se encuentra a 4° del nadir, y el de -40 dB a 15° del nadir).

El cálculo anterior produce un margen de 10 dB para el caso más crítico (tipo 1); la conclusión es, por consiguiente, que el altímetro no interferirá con las HIPERLAN. La situación es aún más favorable en el caso del funcionamiento de la HIPERLAN tipo 2 interior. Además de que el altímetro es un radar de impulsos, no se han considerado el bajo ciclo de trabajo, la atenuación de polarización ni la atenuación de propagación adicional que proporcionan márgenes suplementarios.

4.3 Conclusión

La conclusión es que el funcionamiento del altímetro de radar con una anchura de banda de 320 MHz en torno a 5,3 GHz es compatible con las RLAN. Se obtienen márgenes mejores con sistemas RLAN cuyas características sean semejantes a la HIPERLAN tipo 2. Cabe esperar que sean estas RLAN las que se instalen normalmente en la banda de altímetros. Es probable que la compartición entre las RLAN y los altímetros sea asimismo viable en la banda por encima de 5 460 MHz.

5 Estudios de las RLAN y los dispersómetros

En la actualidad los dispersómetros se utilizan mayoritariamente en aplicaciones terrenales y, en un futuro próximo, conforme aumente la resolución de estos instrumentos, se prevé la utilización de más aplicaciones de sistemas de dispersómetros sobre tierra. Por consiguiente, este análisis de interferencia no se limita a las zonas litorales sino que debe considerarse con carácter mundial.

5.1 Interferencia de las RLAN sobre los dispersómetros

En los sistemas de dispersómetros, la estimación de la potencia de la señal de retorno del eco se efectúa midiendo en primer lugar la potencia de la «señal + ruido» (es decir el retorno del eco más la contribución de ruido del sistema), restando a continuación la potencia de «sólo ruido» (una estimación del ruido del sistema exclusivamente, o «umbral mínimo de ruido»). Para optimizar la calidad de funcionamiento del sistema, las mediciones de la «señal + ruido» y del «sólo ruido» se efectúan en diversas anchuras de banda y/o momentos distintos. Esta estrategia obedece al hecho de que el ruido nominal del sistema es intrínsecamente blanco durante la secuencia de mediciones (estacionario y con una distribución espectral de potencia plana).

La anterior situación da lugar a dos escenarios de interferencia distintos. Uno de ellos es el que la interferencia está constantemente presente en la secuencia de mediciones, es decir, ruido blanco de onda continua, y otro en el que la interferencia sólo está presente en una de las mediciones, debido al movimiento del satélite (desplazamiento de la estampa de una de las antenas de haz en abanico) o a las discontinuidades en la señal del interferente. Esto puede depender asimismo de las técnicas de medición aplicadas en los sistemas de dispersómetros en estudio.

El criterio de calidad de funcionamiento mínima para los dispersómetros se ha establecido en una velocidad de viento de 3 m/s para dicha velocidad del viento, la cantidad de señal retrodispersada es la mínima posible y por consiguiente hay más sensibilidad al ruido y a la interferencia. El error estimado resultante en esta segunda hipótesis de interferencia puede calcularse por medio de un valor paramétrico α con un valor típico para las antenas de haz en abanico ($\alpha = 0,7$ dB) y que se define (de acuerdo con la Recomendación UIT-R SA.1166) como:

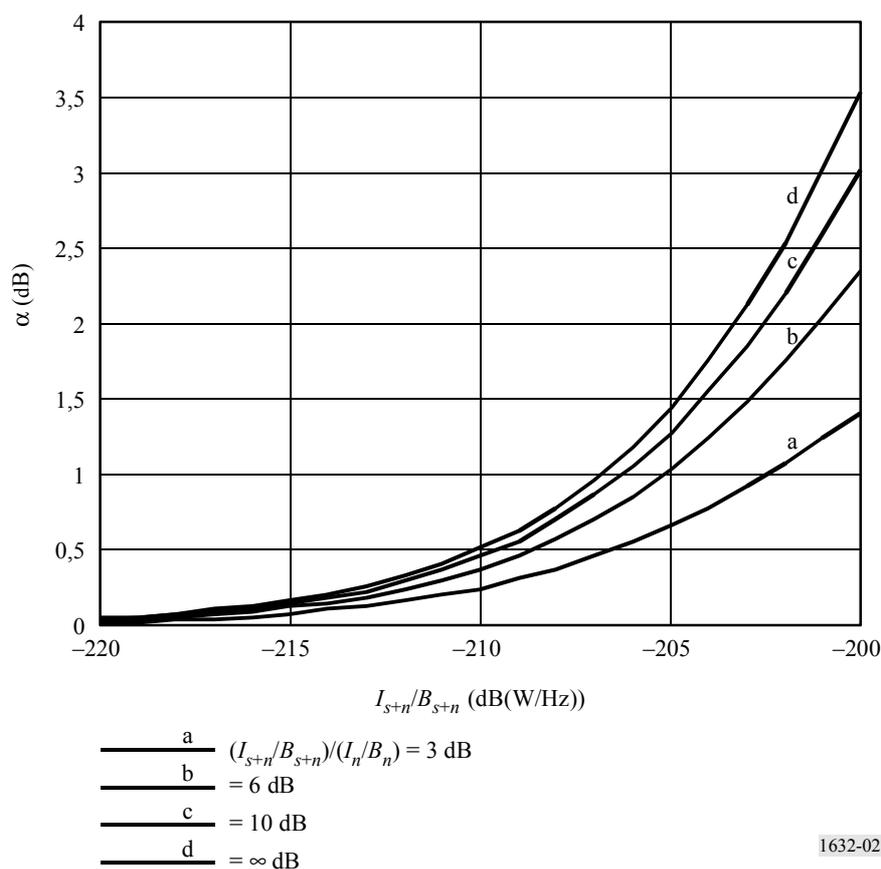
$$\alpha(\text{dB}) = 10 \log \{ [N + (I_{s+n}/B_{s+n})] / [N + (I_n/B_n)] \} \quad (7)$$

siendo:

- N : densidad de potencia nominal correspondiente al umbral mínimo de ruido (aproximadamente -201 dB(W/Hz) a la entrada del receptor del dispersómetro para antenas de haz en abanico)
- B_{s+n} : anchura de banda de la medición de la «señal + ruido»
- B_n : anchura de ruido de la medición de «sólo ruido»
- I_{s+n} : potencia media de la fuente interferente B_{s+n} durante el periodo de medición «señal + ruido»
- I_n : potencia media de la fuente interferente B_s durante el periodo de medición «sólo ruido».

La Fig. 2 es la representación gráfica de la ecuación (1) correspondiente a un dispersómetro con un umbral mínimo de ruido de receptor de $N = -201$ dB(W/Hz). En dicha Figura se representa α en función de la densidad espectral de potencia de la señal interferente I_{s+n}/B_{s+n} . Debido a la estrechez del haz en abanico, cabe esperar variaciones de algunos dB en los niveles de interferencia recibidos conforme se desplazan los lóbulos laterales del dispersómetro por el haz del transmisor. En opinión de los técnicos el valor máximo previsto de $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n}) / (I_n/B_n)]$ durante el periodo de medición es de 6 dB. La Fig. 2, por consiguiente, permite establecer la conclusión de que la máxima densidad espectral de potencia de interferencia que puede soportar cualquiera de las antenas de haz en abanico del dispersómetro, sin degradación de la precisión de la medición, es de -207 dB(W/Hz).

FIGURA 2



Para la interferencia asimilable a ruido blanco de onda continua, la máxima densidad de potencia espectral de interferencia sería de -195 dB(W/Hz), aproximadamente, a la entrada del receptor.

La RLAN utilizada en este análisis de compartición es la HIPERLAN tipo 2 normal (los parámetros se indican en el § 2.2). El nivel de interferencia admisible más estricto en el receptor del dispersómetro es -207 dB(W/Hz). En el Dispersómetro 1, se ha utilizado una ganancia de antena de 31 dBi a 650 km de distancia de la trayectoria, lo que corresponde a una atenuación en el espacio libre de 167,3 dB.

La potencia recibida por el dispersómetro procedente de una HIPERLAN puede expresarse como:

$$(P_r)_{dB} = (P_h)_{dB} - LFS + (G_s)_{dB} - 3 \quad (8)$$

Aplicando esta fórmula se obtiene para P_r un valor de $-149,3$ dB en una anchura de banda de 16 MHz correspondiente a $-221,3$ dB(W/Hz), lo que proporciona un margen de 14,3 dB. Se concluye, pues, que la interferencia procedente de una HIPERLAN/2 en el receptor de un dispersómetro no constituye interferencia perjudicial. Además, como pone de manifiesto el Cuadro 12, los dispersómetros son compatibles con las instalaciones de RLAN de alta densidad, especialmente cuando las RLAN se instalan en exteriores.

CUADRO 12

Capacidad admisible de HIPERLAN/2 activas compartida con el Dispersómetro 1

Tipo de instalación	Únicamente exterior	Únicamente interior	Combinada (15% exterior)
Potencia transmitida (dBW)	-10	-10	-10
Atenuación en el espacio libre (dB)	-167,3	-167,3	-167,3
Ganancia de la antena en recepción (dBi)	31	31	31
Atenuación de polarización (dB)	-3	-3	-3
Atenuación adicional del trayecto (dB)	0	-17	-7,8
Potencia recibida (dB(W/canal))	-149,3	-166,3	-157,1
Potencia recibida (dB(W/Hz))	-221,3	-238,3	-229,1
Umbral de interferencia del dispersómetro	-207	-207	-207
Margen (dB/Hz)	14,3	31,3	22,1
Relación activa/pasiva (5%)	13	13	13
Número total admisible de RLAN activas + pasivas/km ² (dB)	27,3	44,3	35,1

5.2 Interferencia de los dispersómetros sobre las RLAN

En este caso se considera la interferencia procedente del Dispersómetro 1 sobre la HIPERLAN tipo 2. Puesto que este tipo de RLAN tiene selección dinámica de frecuencia y debido a que la anchura de banda del dispersómetro es relativamente pequeña, esta situación sólo considerará uno de los lóbulos laterales del dispersómetro sobre la HIPERLAN. La potencia de cresta correspondiente a este sistema de dispersómetro es de 4,8 kW, habiéndose utilizado de nuevo en este análisis el valor de 26 dBi para el lóbulo lateral.

La potencia recibida por una HIPERLAN procedente del Dispersómetro 1 es de $-106,5$ dB aproximadamente, superior al umbral de interferencia de la HIPERLAN o a la denominada sensibilidad mínima útil del receptor de -115 dB. En este análisis no se han considerado las atenuaciones adicionales de entrada ni de polarización, porque estos valores no alterarán los resultados considerablemente (si acaso unos pocos dB). Durante el sobrevuelo del dispersómetro, el tiempo que el sistema RLAN está a la vista de los lóbulos laterales de la antena del dispersómetro es típicamente de algunos segundos. Como este tipo de dispersómetro utiliza varias antenas de haz en abanico, el tiempo total de interferencia cuando el satélite pasa por encima podría incluso alcanzar el entorno de 20 s. Como se ha expuesto anteriormente estos sistemas de HIPERLAN tipo 2 utilizan selección dinámica de frecuencia, lo que les permite conmutar a otro canal antes de efectuar la transmisión de los datos. Por consiguiente esta herramienta se considera de gran utilidad para reducir el problema de la interferencia.

Una manera más adecuada de determinar el máximo nivel de interferencia admisible sería considerar la relación C/I , que ha de ser superior a 15 dB. En el caso de que los transmisores se encuentren separados entre sí menos de 50 m (caso más desfavorable), se podría aumentar el nivel de interferencia admisible en 10 dB (o sea, -105 en vez de -115 dBW). En el dispersómetro 1 este análisis produce un margen positivo de 1,5 dB para los equipos exteriores. Utilizando la instalación de RLAN interior en este análisis, se obtendría un margen aún mejor (18,5 dB).

CUADRO 13

Dispersómetro 1 sobre WLAN inalámbricas de alta velocidad

Parámetro	Valor	dB
Potencia transmitida (W)	4 800,00	36,81
Atenuación del trayecto de transmisión (dB)	0,00	0,00
Ganancia de la antena, en transmisión (dB)	26,00	26,00
Ganancia de la antena, en recepción (dB)	0,00	0,00
Longitud de onda (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Distancia (km)	1 314,03	-122,37
Reducción de la anchura de banda (dB)	0,00	0,00
Potencia recibida (dBW)		-106,50
Umbral de interferencia de las HIPERLAN		-115,00
Margen (dB) (exteriores)		-8,50
Atenuación de los edificios (dB)		17
Margen (dB) (interiores)		8,50

5.3 Conclusión

La conclusión es que el funcionamiento de los dispersómetros en torno a 5,3 GHz es compatible con las RLAN en la misma banda. Se prevé que los dispersómetros, durante su funcionamiento, no se vean afectados por interferencias importantes procedentes de las RLAN. En lo que se refiere a la interferencia procedente de los dispersómetros sobre las RLAN, el estudio indica la viabilidad de la compartición para las RLAN interiores. Cabe observar que ciertas RLAN con las características de la Norma HIPERLAN tipo 2 se han diseñado para venir equipadas con DFS. Estos sistemas tendrán menos posibilidad de verse afectados por interferencia procedente de los sistemas de dispersómetros cuando funcionen en exteriores.

6 Conclusiones globales sobre la compatibilidad

Los análisis de compartición expuestos en esta Recomendación para los sensores activos a bordo de vehículos espaciales típicos que funcionan en la banda 5 250-5 350 MHz y las WLAN de alta velocidad que se pretende instalar en la misma banda, cabe establecer la conclusión global de que ambos servicios serán compatibles, siempre que las RLAN reúnan determinadas características:

- Instalación interior (con una atenuación de 17 dB con respecto a los sistemas exteriores).
- Límite de p.i.r.e. media² de 200 mW (o de 100 mW si no se utiliza el TPC) y un límite de densidad de p.i.r.e. media de 10 mW en cualquier banda de 1 MHz.
- Función de TPC para obtener un factor de reducción de 3 dB como mínimo.
- Función aleatoria de selección de canal, tal como la función de DFS, asociada al mecanismo de selección de canal para obtener una distribución uniforme de la carga de los canales de la WLAN en toda la anchura de banda disponible en la banda de 5 GHz (las hipótesis establecidas en este estudio para un total de 330 MHz proporcionan una densidad de 440 transmisores en un canal de 20 MHz en la estampa del SAR).

² La p.i.r.e. media se refiere al promedio de la p.i.r.e. sobre la ráfaga de transmisión correspondiente al nivel máximo del control de potencia.