

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1706

Criterios de protección para los sistemas inalámbricos fijos punto a punto que comparten la misma banda de frecuencias con los sistemas de acceso inalámbrico nómada en la gama de 4 a 6 GHz

(Cuestión UIT-R 133/9)

(2005)

Cometido

Esta Recomendación da los criterios de protección para los sistemas inalámbricos fijos (FWS) punto a punto frente a los sistemas de acceso inalámbrico nómada (NWAS) en la gama de 4 a 6 GHz que funcionan en zonas próximas a las fronteras internacionales. El Anexo 1 ofrece los factores del análisis y ejemplos de simulación de distancias de separación para proteger los FWS punto a punto contra la interferencia procedente de los NWAS.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en muchas partes del espectro, el servicio fijo y el servicio móvil comparten las mismas bandas de frecuencias;
- b) que, con los criterios de compartición y la separación geográfica adecuados, ambos sistemas pueden coexistir y utilizar el espectro de frecuencias de forma eficaz;
- c) que no se ha determinado la distancia de separación necesaria para proteger los FWS punto a punto contra la interferencia causada por los NWAS en muchas bandas de frecuencias, incluyendo la gama de 4 a 6 GHz;
- d) que en muchos tramos de la gama de frecuencias mencionada, los FWS comparten también la misma banda con los servicios espaciales,

observando

- a) que los sistemas FWS punto a punto y los NWAS que comparten la misma banda de frecuencias en la gama de 4 a 6 GHz pueden funcionar en zonas próximas entre sí más allá de las fronteras internacionales,

recomienda

1 que los criterios de protección de los FWS punto a punto que comparten las mismas bandas de frecuencias con los NWAS sean los siguientes:

- la interferencia máxima combinada procedente del sistema NWAS, incluyendo la estación de base y las estaciones terminales, debe ser tal que la degradación en el umbral de un receptor FWS no exceda de 0,5 dB, en condiciones de propagación en el espacio libre (equivalente a un ruido de interferencia combinada que no exceda de un décimo del nivel del ruido térmico del receptor FWS) (véase la Nota 1);

2 que para otras informaciones, se acuda a la del Anexo 1, incluyendo la referente a la distancia de separación para proteger los FWS contra la interferencia causada por los NWAS.

NOTA 1 – Este criterio se obtiene teniendo en cuenta el *considerando* c), así como una serie de parámetros del sistema utilizados para los estudios de compartición de la Recomendación UIT-R F.758, en la gama de 4 a 6 GHz.

Anexo 1

Consideración de la distancia de separación para proteger los FWS punto a punto contra la interferencia causada por los NWS que comparten la misma banda de frecuencias en la gama de 4 a 6 GHz

1 Introducción

En muchas partes del espectro, el servicio fijo y el servicio móvil comparten las mismas bandas de frecuencias. Los estudios sobre compatibilidad entre ambos servicios serán cada vez más importantes, alcanzando a las bandas por encima de 3 GHz.

Recientemente, la utilización y las aplicaciones de los sistemas de comunicación inalámbricos terrenales se extienden de forma tan considerable que algunos países pueden considerar la utilización futura de las bandas por encima de 3 GHz para los sistemas de acceso inalámbrico, incluyendo las aplicaciones nómadas/móviles. Debe señalarse, que muchas bandas de frecuencias de la gama de 4 a 6 GHz se utilizan ampliamente para los sistemas de radioenlaces tradicionales del servicio fijo. Por tanto, la revisión de la utilización del espectro exige un examen minucioso de la compatibilidad de las aplicaciones actuales y nuevas. Además, debe evaluarse, en ciertos casos, la repercusión del despliegue de una nueva aplicación en otros sistemas, más allá de las fronteras internacionales.

En este Anexo se examina la distancia de separación necesaria para proteger los sistemas de radioenlaces digitales convencionales (DRRS) contra la interferencia inaceptable causada por los NWS en la banda de frecuencias de 5 GHz.

2 Factores básicos que han de considerarse en el análisis

En el análisis que se expone a continuación se tienen en cuenta los factores siguientes:

- en la gama de frecuencias alrededor de 5 GHz, por ejemplo, en 4 400-5 000 MHz, los DRRS se despliegan con gran densidad alrededor de las ciudades;
- los parámetros del sistema utilizados en el análisis deben, en la medida de lo posible, basarse en los que figuran en otras Recomendaciones UIT-R sobre estudios de compartición;
- los NWS pueden explotarse en entornos de exteriores e interiores;
- los DRRS se explotan generalmente utilizando la mayor parte de la anchura de banda disponible y por tanto, es difícil aplicar medidas de reducción de la interferencia a los NWS, tales como las de selección dinámica de la frecuencia (DFS) en la banda compartida;
- se consideran básicamente los trayectos de interferencia entre los NWS y los DRRS.

Además, el análisis se efectúa con modelos teóricos y ejemplos prácticos.

3 Parámetros de los DRRS y NWS

3.1 Parámetros del DRRS

El Cuadro 1 ofrece ejemplos de parámetros técnicos de los DRRS, basados en los del Cuadro 13 de la Recomendación UIT-R F.758-3.

CUADRO 1

Parámetros del DRRS

| Parámetro | Símbolo | Valor y unidad | Referencia |
|--------------------------------------|---------------|----------------|--|
| Frecuencia central de funcionamiento | f | 5 000 MHz | |
| Altura de la antena sobre el suelo | H_D | 70 m | (1) |
| Ganancia máxima de antena | – | 42,5 dBi | Recomendación UIT-R F.758 ⁽²⁾ |
| Diagrama de radiación de la antena | $G_D(\theta)$ | – dBi | Recomendación UIT-R F.699 |
| Pérdidas del alimentador | L_f | 3,5 dB | Recomendación UIT-R F.758 |
| Anchura de banda del receptor | B_D | 30,2 MHz | |
| Ruido térmico del receptor | N_{thD} | –97,5 dBm | |
| Potencia del transmisor | P_{tD} | 33 dBm | |

(1) Valor acordado en el estudio de compartición entre el servicio fijo y una estación terrena a bordo de barco (ESV) de la Recomendación UIT-R SF.1650.

(2) Generalmente se utiliza una única antena para el receptor y el transmisor.

3.2 Parámetros del NWAS

El Cuadro 2 ofrece ejemplos de parámetros técnicos del NWAS que se basan en los de la HiperLAN (tipo 2) utilizada en el estudio de compartición entre una red radioeléctrica de área local (RLAN) y el servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) de la Recomendación UIT-R M.1653.

CUADRO 2

Parámetros de referencia del NWAS

| Parámetro | Símbolo | Valor y unidad | | Referencia |
|---|-------------|---------------------|-----------------------|------------|
| | | Exteriores | Interiores | |
| Frecuencia central de funcionamiento | f | 5 000 MHz | 5 000 MHz | |
| Altura de la antena sobre el suelo | H_N | 10 m | 30 m | (1) |
| Ganancia máxima de la antena | G_{NWAS} | 0 dBi | 0 dBi | (2) |
| Diagrama de radiación de la antena | – | Omnidireccional | Omnidireccional | |
| Anchura de banda del receptor | B_N | 16 MHz | 16 MHz | |
| Nivel mínimo de recepción | P_{rminN} | –85 dBm | –68 dBm | |
| p.i.r.e del transmisor | P_{tN} | 30 dBm | 20 dBm ⁽³⁾ | |
| Relación activa (caso más desfavorable) | – | 100% ⁽⁴⁾ | 5% o menos | |

(1) Altura de la antena de la estación de base NWAS.

(2) Recomendación UIT-R M.1653.

(3) Se considera el efecto del control de potencia del transmisor (3 dB).

(4) Se considera el efecto total de una estación de base y los terminales que funcionan dentro de su zona de cobertura.

En el caso de que el NWA se explote en un entorno de exteriores, cada estación de base constituye una cobertura de servicio con un radio de unos 100 m. Dentro de esta cobertura, funcionan varios terminales de acceso inalámbrico nómada (NWA). Si el diseño de todas las antenas (de una estación de base y de los terminales) es de tipo omnidireccional, el valor del efecto total de la interferencia en las estaciones DRRS situadas a una distancia suficientemente larga puede aproximarse mediante el de la interferencia procedente de la estación de base en el centro de la cobertura, suponiendo que sólo está activo un único transmisor (realmente, que transmite una señal) en todo instante. De esta manera, el efecto total de una estación de base y de todos los terminales dentro de su zona de cobertura puede conducir a una relación activa más desfavorable del 100%. No obstante, hay que seguir estudiando si el caso más desfavorable de relación activa del 100% es el adecuado.

Cuando se trata de entornos de interiores en los estudios generales de compartición, se supone para la relación activa (relación entre transmisión y silencio) de las RLAN, un valor del 5%. Esta cifra se ha obtenido de entornos amplios que incluyen redes de oficina en interiores de los edificios. En esta Recomendación se supone que el edificio contiene una serie de terminales NWA/RLAN que funcionan en la misma frecuencia que el DRRS. El número supuesto de terminales y el efecto de su interferencia combinada figuran en el Cuadro 3.

CUADRO 3

Condiciones operacionales para el NWA

| | |
|--|------------------------------|
| Relación activa | 5% o menos |
| Número de terminales que funcionan en la misma frecuencia que el DRRS víctima en un edificio | Varias decenas |
| Efecto combinado de todos los terminales | $\Delta Ag = +5$ dB |
| Pérdidas de bloqueo en el edificio | $L_B = 12$ dB ⁽¹⁾ |

⁽¹⁾ La Recomendación UIT-R M.1454 da un intervalo de 7 a 17 dB para la interferencia de satélite entre un ángulo de elevación reducido y uno grande.

3.3 Criterios de interferencia para el DRRS

Se supone que el DRRS y el NWA funcionan en la misma banda en la que los servicios fijo y móvil tienen atribuciones con carácter primario. Por tanto, puede aplicarse un criterio de interferencia de $I/N = -10$ dB al servicio fijo DRRS para la interferencia de larga duración. Así pues, el nivel máximo de interferencia admisible, $I_{máxD}$, para el DRRS viene dado por:

$$I_{máxD} = N_{thD} - 10 = -107,5 \quad \text{dBm} \quad (1)$$

3.4 Interferencia procedente del DRRS en el NWA

El criterio de interferencia para el NWA todavía no se ha definido en ninguna Recomendación UIT-R. A título de ejemplo, un NWA basado en la especificación HiperLAN (tipo 2) tiene un nivel mínimo de funcionamiento de portadora, P_{rminN} , de -85 dBm, o -68 dBm (para una capacidad de 6 Mbit/s o una capacidad de 54 Mbit/s, respectivamente), según la Recomendación UIT-R M.1653. En este caso, el nivel máximo de la interferencia admisible, $I_{máxN}$, para el NWA se obtiene a partir de la C/I requerida de 8 dB (para MDP-2) o de 24 dB (para MAQ-64), de la siguiente manera.

$$I_{máxN} = P_{rminN} - 8 = -93 \quad \text{dBm} \quad (\text{para sistema en exteriores}) \quad (2a)$$

$$I_{máxN} = P_{rminN} - 24 = -92 \quad \text{dBm} \quad (\text{para sistema en interiores}) \quad (2b)$$

En este Anexo se considera que estos límites son únicamente ejemplos y no tienen una valoración precisa.

4 Modelo teórico de la interferencia

4.1 Hipótesis generales

En los puntos que siguen el análisis se realiza con las hipótesis siguientes:

Para la interferencia entre el DRRS y un NWAS en exteriores:

- a) Se permite el funcionamiento de una estación de base NWAS si no produce interferencia superior a la del criterio especificado en ninguna de las estaciones DRRS existentes.
- b) Los efectos de los terminales NWA que funcionan en la zona de cobertura de una estación de base convergen hacia el punto en que se sitúa la estación de base y se representan por la interferencia procedente de la estación de base con una relación activa elevada (100% en el caso más desfavorable).
- c) Las pérdidas del trayecto de interferencia entre dos estaciones (una estación de base NWAS y una estación DRRS) siguen un camino de visibilidad directa (LoS) en el espacio libre.
- d) No se consideran los efectos de las opciones de reducción de la interferencia en el NWAS, por ejemplo, las de control de potencia del transmisor (TPC) o DFS.
- e) No se tiene en cuenta el efecto combinado de más de una estación de base NWAS en una estación DRRS. (Esto requiere nuevos estudios.)

Para la interferencia entre el DRRS y un NWAS en interiores:

- f) Un NWAS instalado en un edificio puede funcionar si no produce interferencia superior a la del criterio especificado en ninguna de las estaciones DRRS actuales, en las condiciones que figuran en el Cuadro 3.
- g) Las pérdidas del trayecto de interferencia entre dos sistemas, distintas de las pérdidas de bloqueo de edificios del Cuadro 3, responden a una condición de LoS en el espacio libre.
- h) Se tiene en cuenta el efecto del TPC en el NWAS, así como la reducción de potencia equivalente de 3 dB (es decir, los 20 dBm del Cuadro 2).
- i) No se tiene en cuenta el efecto combinado de más de un edificio que albergue un NWAS en una estación DRRS. (Esto exige nuevos estudios.)

4.2 Distancia de separación para una estación única

La Fig. 1 representa un modelo básico de interferencia de una estación DRRS y una estación de base NWAS única.

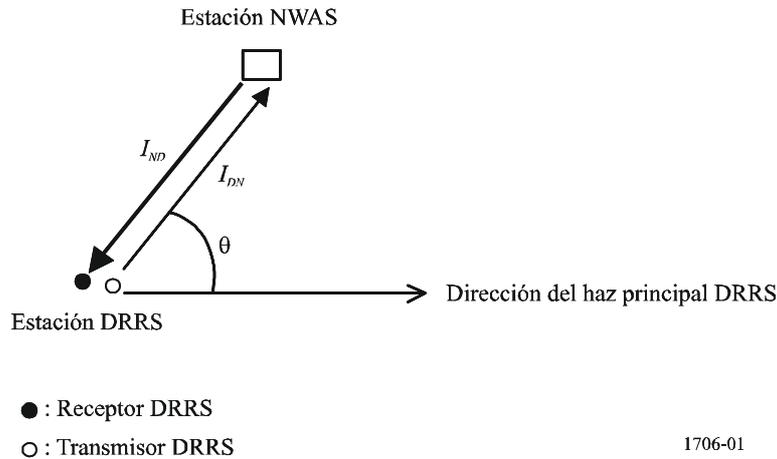
Un punto de estación de base NWAS se considera «posible» para la cobertura del servicio NWA cuando el nivel de interferencia I_{ND} es inferior al nivel especificado $I_{máxD}$.

$$\text{(para NWAS en exteriores)} \quad I_{ND} = P_{tN} - L_S - L_f - G_D(\theta) \quad (< I_{máxD} = -107,5 \text{ dBm}) \quad (3a)$$

$$\text{(para NWAS en interiores)} \quad I_{ND} = P_{tN} - L_B + \Delta Ag - L_S - L_f - G_D(\theta) \quad (< I_{máxD} = -107,5 \text{ dBm}) \quad (3b)$$

FIGURA 1

Modelo básico de interferencia



En casos reales, la cobertura del servicio NWA puede además determinarse mediante las condiciones siguientes:

$$\text{(para NWA en exteriores)} \quad I_{DN} = P_{tD} - L_S - L_f - G_D(\theta) - \Delta B \quad (< I_{máxN} = -93 \text{ dBm}) \quad (4a)$$

$$\text{(para NWA en interiores)} \quad I_{DN} = P_{tD} - L_S - L_f - L_B - G_D(\theta) - \Delta B \quad (< I_{máxN} = -92 \text{ dBm}) \quad (4b)$$

siendo:

L_S : pérdidas del espacio libre

ΔB : factor de ajuste de la anchura de banda,

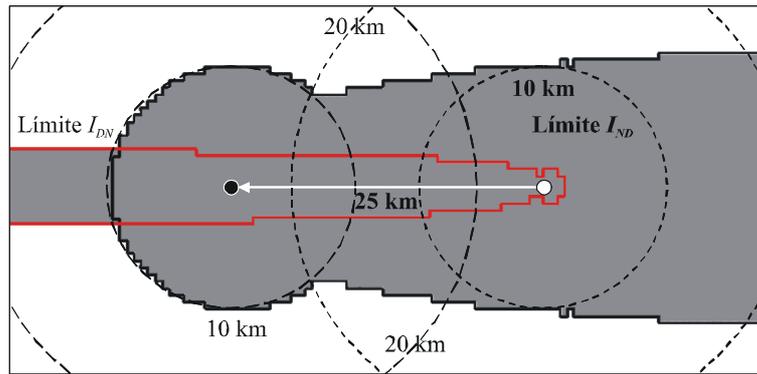
$$10 \log (30,2/16) = 2,75 \quad \text{dB} \quad (5)$$

NOTA – Las cifras de $I_{máxN}$ son ejemplos únicamente para la HiperLAN de tipo 2.

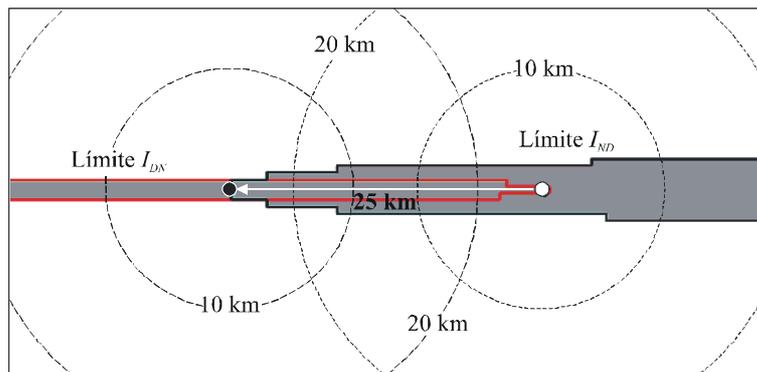
La cobertura posible del servicio NWA puede representarse como la superficie exterior a la parte sombreada de la Fig. 2a) y la Fig. 2b) para una pareja de estaciones DRRS con una cierta distancia de salto (la Fig. 2 se calcula a partir de los parámetros de los Cuadros 1, 2 y 3 e indica el caso de un salto de 25 km). La distancia de separación necesaria depende principalmente de las características de la antena de las estaciones DRRS para entornos NWA en exteriores y en interiores.

Debe señalarse que la parte sombreada en la que no se permite el servicio NWA puede estar limitada por la condición de visibilidad directa (LoS), dependiendo de las alturas de antena de ambas estaciones. Este límite de LoS es de unos 50 km, conforme a los parámetros de los Cuadros 1 y 2.

FIGURA 2
Cobertura posible del servicio NWA



a) Cobertura del servicio para NWAS en exteriores



b) Cobertura del servicio para NWAS en interiores

- : Receptor DRRS
- : Transmisor DRRS
- : Límite de cobertura para I_{ND}
- : Límite de cobertura para I_{DN}

1706-02

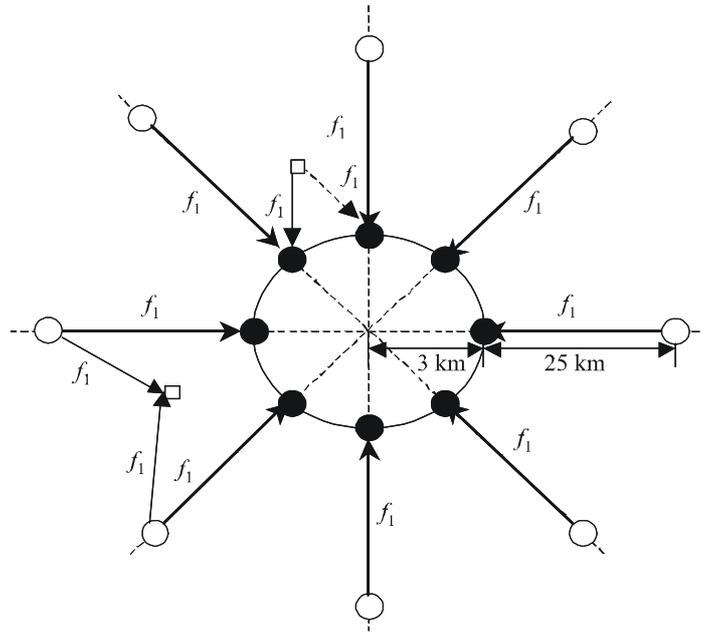
4.3 Modelos de enlace DRRS compuesto alrededor de núcleos urbanos

La cobertura posible del servicio NWA de la Fig. 2 puede considerarse como base para el estudio de compartición. No obstante, conviene ofrecer otros resultados analíticos basados en modelos más prácticos.

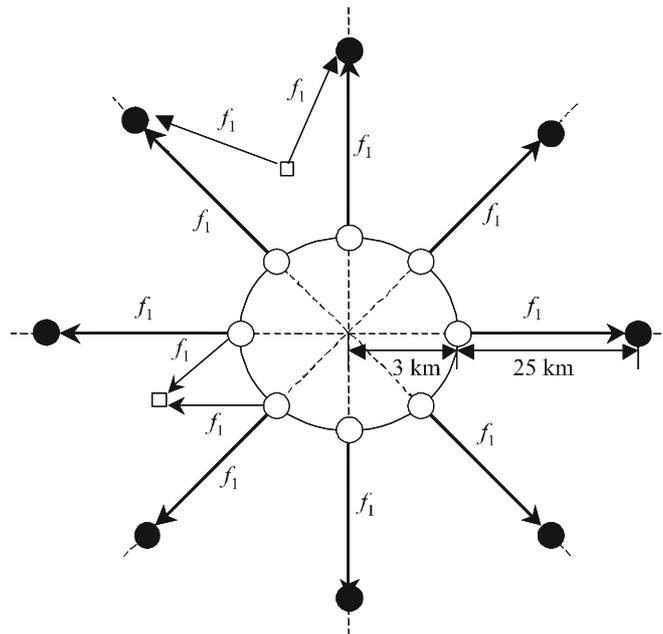
Generalmente, alrededor de los núcleos urbanos convergen geográficamente múltiples enlaces DRRS. En el modelo de la Fig. 3, cerca del centro de la ciudad se sitúan n estaciones DRRS, con igual separación, en un despliegue circular cuyo radio es de 3 km (la Fig. 3 ilustra ejemplos de $n = 8$).

FIGURA 3

Modelo teórico de enlace DRRS alrededor de un núcleo urbano



a) Esquema A



b) Esquema B

- Transmisor DRRS
- Receptor DRRS
- Estación de base NWAS

Para dicho modelo de enlace compuesto, hay dos esquemas de utilización de frecuencias, tal como se representa en las Figs. 3a) y 3b). En el esquema A, se utiliza la misma frecuencia para las estaciones NWA (en modo dúplex por división en el tiempo (DDT) y los receptores de las estaciones DRRS en las proximidades del centro de la ciudad. Por otro lado, en el esquema B, los transmisores de estas estaciones DRRS comparten la misma frecuencia que las estaciones NWA.

Utilizando los parámetros de los Cuadros 1 a 3, así como las ecuaciones (3a) y (3b) y sobre la base de los modelos del Cuadro 4, se han realizado cálculos de I_{ND} para NWA de interiores y exteriores desplegadas en un gran número de puntos alrededor de ciudades.

CUADRO 4

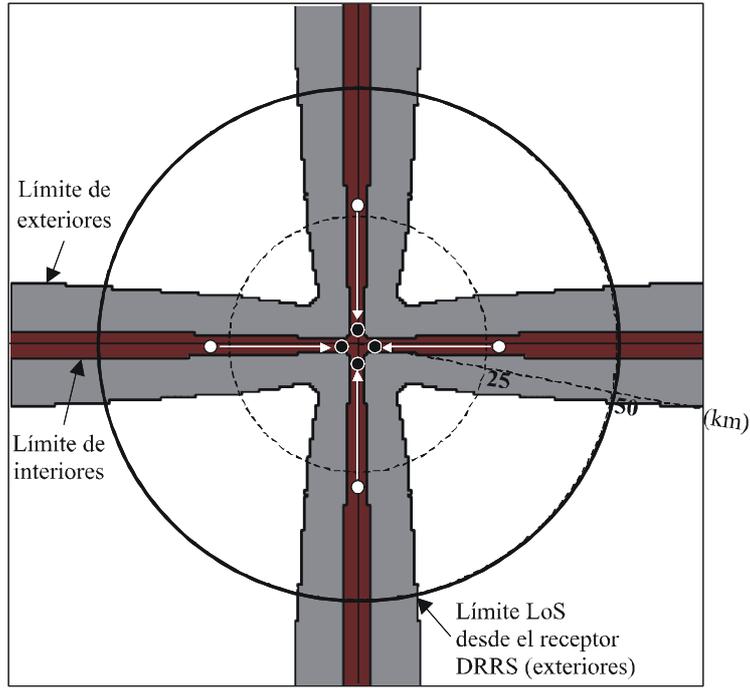
Modelo de cálculo para enlaces DRRS compuestos

| <i>n</i> (número de estaciones DRRS desplegadas alrededor de la ciudad) | Esquema de utilización de frecuencias (Fig. 3) | Resultados del cálculo |
|--|---|-------------------------------|
| 4 | Esquema A | Fig. 4a) |
| | Esquema B | Fig. 4b) |
| 8 | Esquema A | Fig. 5a) |
| | Esquema B | Fig. 5b) |
| 12 | Esquema A | Fig. 6a) |
| | Esquema B | Fig. 6b) |

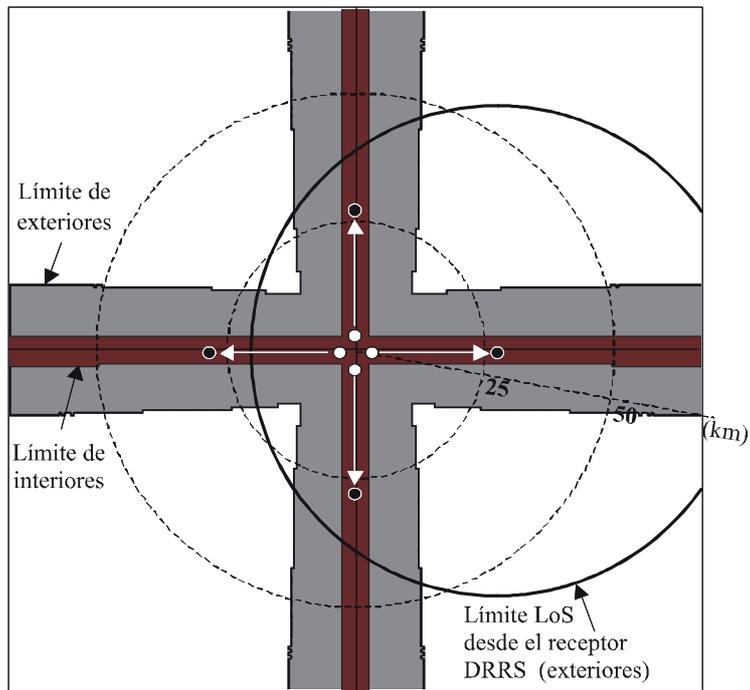
Suponiendo a partir de las Figs. 2a) y 2b) que la zona posible del servicio NWA se decide por I_{ND} , es decir, la interferencia procedente del NWA en el DRRS, en todos los casos, las Figs. 4 a 6 ilustran únicamente los límites de I_{ND} para aplicaciones NWA en interiores y en exteriores. Debe señalarse que el límite de la LoS de los modelos ($H_D = 70$ m, $H_N = 10$ m para un sistema NWA) es de 47,5 km (con el radio equivalente de la Tierra $K = 4/3$), y que la zona «prohibida» para el sistema NWA de exteriores debe estar limitada por esta condición. La zona posible es ligeramente más amplia en el esquema A que en el esquema B. La utilización de frecuencias del esquema B impone una condición más restrictiva al despliegue de NWA.

FIGURA 4

Cobertura posible del servicio NWA para el modelo teórico ($n = 4$)



a) Esquema A (4 estaciones)



b) Esquema B (4 estaciones)

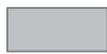
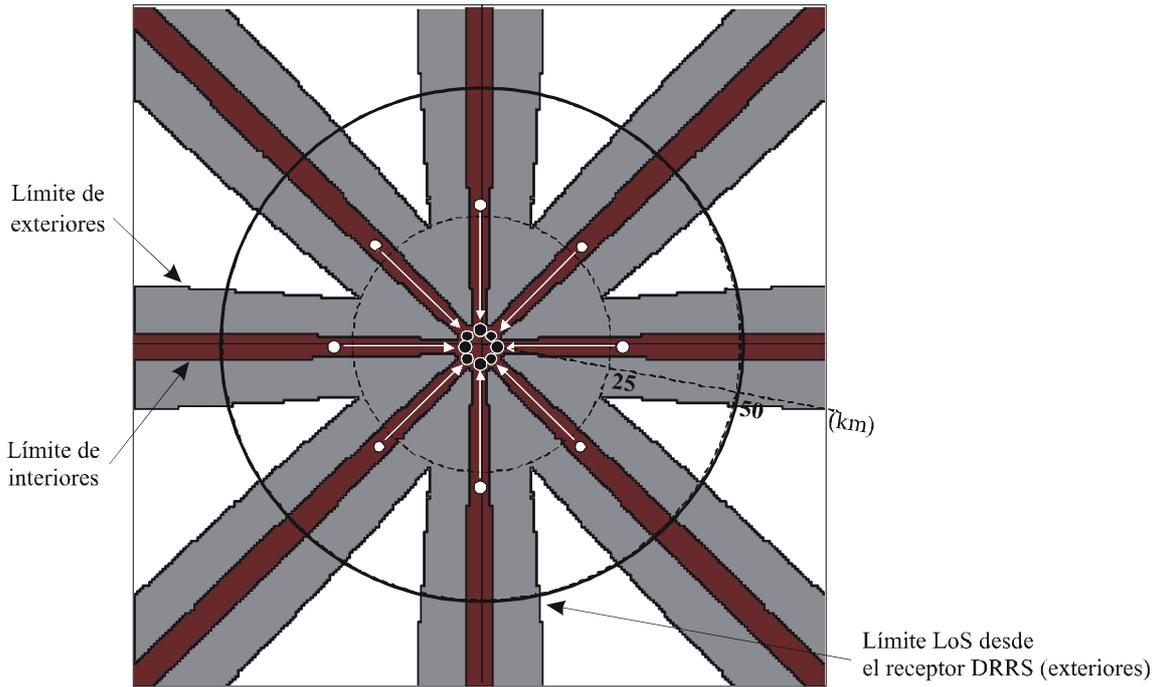
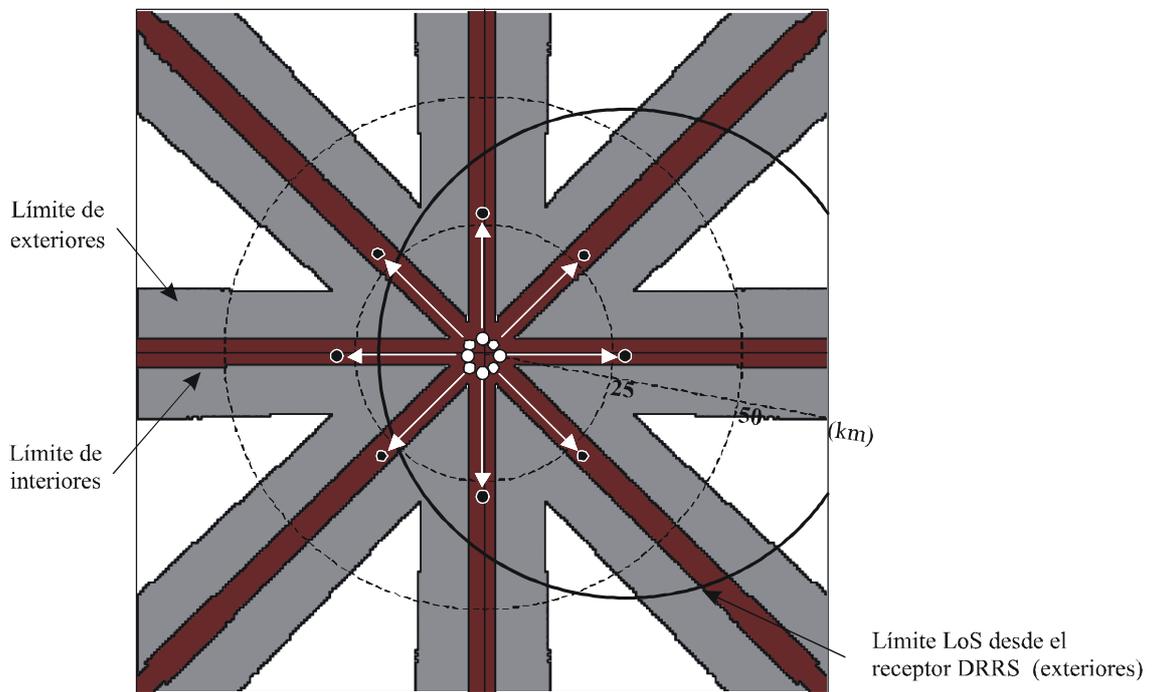
  Zona en la que el servicio NWA no está permitido

FIGURA 5

Cobertura posible del servicio NWA para el modelo teórico ($n = 8$)



a) Esquema A (8 estaciones)

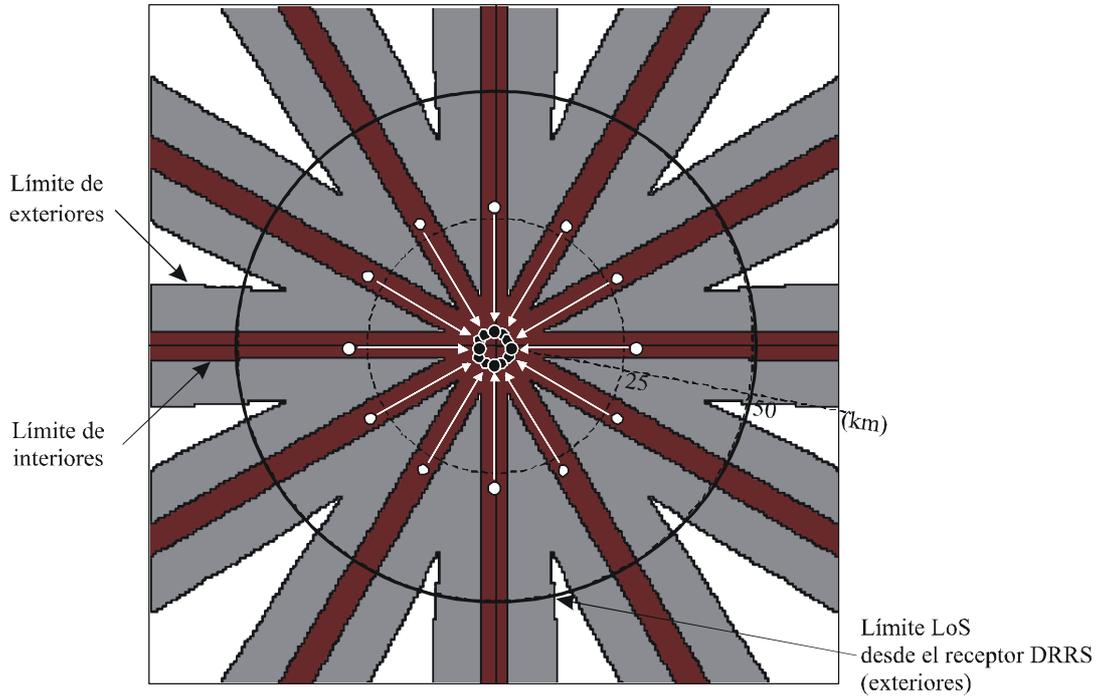


b) Esquema B (8 estaciones)

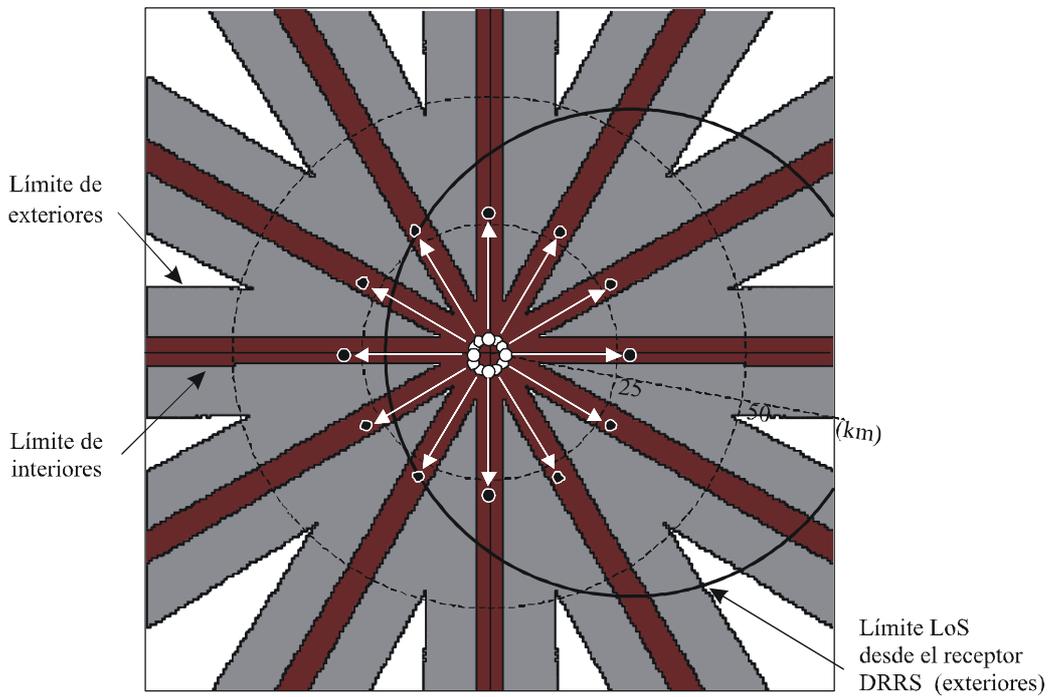
  Zona en la que el servicio NWA no está permitido

FIGURA 6

Cobertura posible del servicio NWA para el modelo teórico ($n = 12$)



a) Esquema A (12 estaciones)



b) Esquema B (12 estaciones)

Zona en la que el servicio NWA no está permitido

5 Simulación basada en modelos prácticos de ciudad

La metodología del § 4 puede aplicarse a redes DRRS existentes desplegadas en ciudades reales. La simulación se efectúa para tres ciudades en Japón en las que los enlaces DRRS tienen los parámetros de despliegue del Cuadro 5.

CUADRO 5
Modelo de cálculo de entornos reales de ciudad

| Ciudad | Número de estaciones DRRS alrededor de la ciudad | Número de enlaces DRRS desplegados alrededor de la ciudad | Esquema de utilización de frecuencias (Fig. 3) | Resultados del cálculo |
|--------|--|---|--|------------------------|
| Tokio | 5 | 15 | Esquema A | Fig. 7 |
| Osaka | 4 | 13 | Esquema B | Fig. 8 |
| Nagano | 3 | 6 | Esquema A | Fig. 9 |

Además de las hipótesis del § 4.1, en esta simulación se tienen en cuenta el apantallamiento de la interferencia o los efectos de reducción debidos a los entornos geográficos naturales, mientras que no se consideran los efectos de los objetos artificiales (por ejemplo, edificios).

FIGURA 7
Cobertura posible del servicio NWA en exteriores (Tokio)

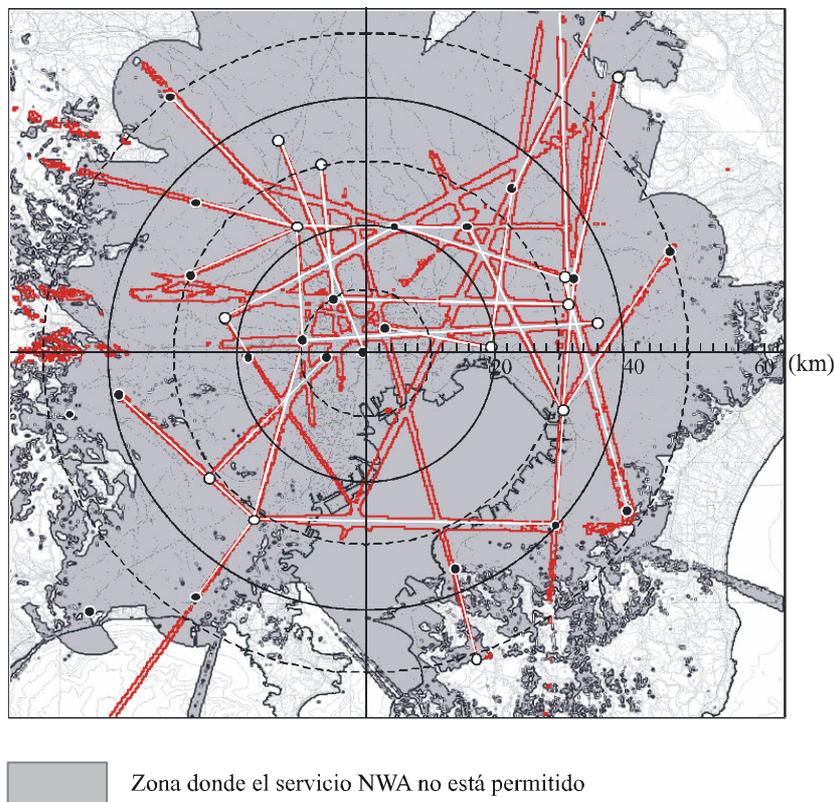
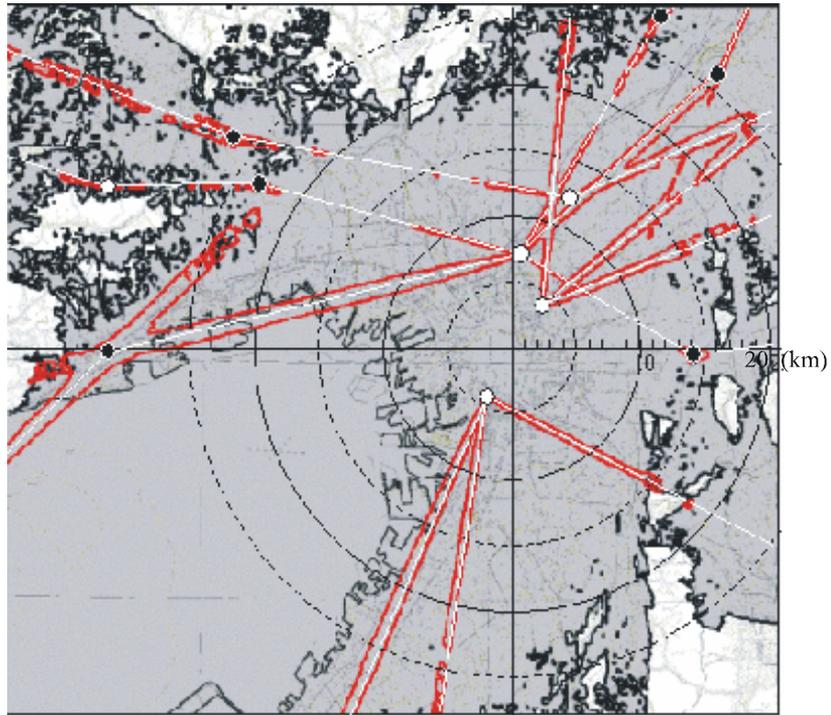


FIGURA 8

Cobertura posible del servicio NWA en exteriores (Osaka)

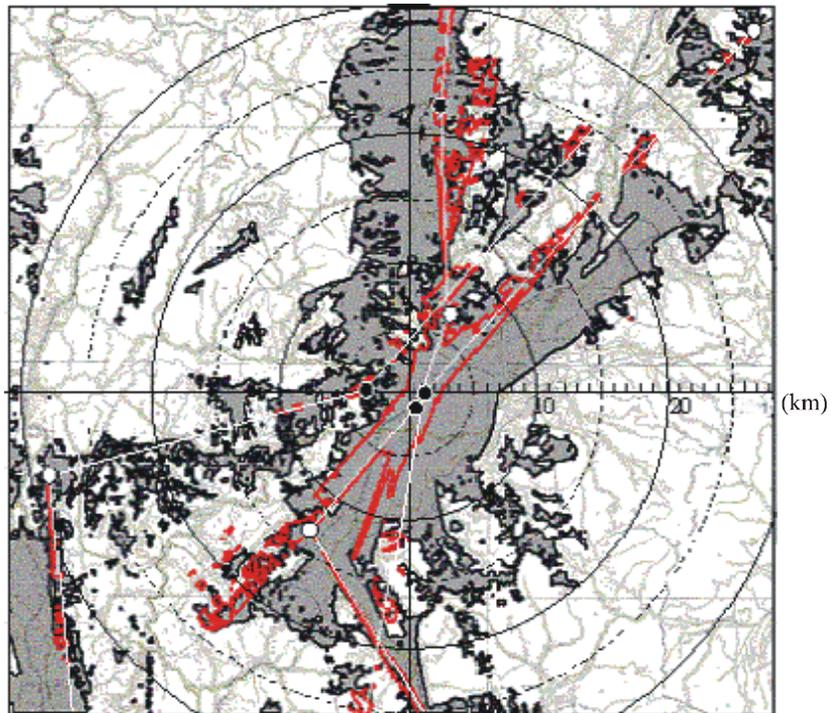


Zona donde el servicio NWA no está permitido

1706-08

FIGURA 9

Cobertura posible del servicio NWA en exteriores (Nagano)



Zona donde el servicio NWA no está permitido

1706-09

6 Conclusión

Los resultados de una simulación que se exponen en este Anexo están orientados a la protección de los sistemas FWS frente a los NWAS entre fronteras. Cabe señalar las observaciones siguientes:

- Alrededor de núcleos urbanos en los que convergen solamente algunos enlaces DRRS puede ser posible desplegar NWAS en la zona que guarda una distancia de separación de unos 10 km (para NWAS en interiores) a 20 km (para NWAS en exteriores) desde el centro de la ciudad.
- Alrededor de los núcleos urbanos en los que convergen más enlaces DRRS, puede ser difícil desplegar NWAS, a menos que la distancia de separación entre ambos sistemas sea superior al límite de la LoS (unos 40-50 km desde el centro de la ciudad).

Entre los temas que hay que seguir estudiando están:

- el efecto de la interferencia combinada en una estación DRRS procedente de más de una estación NWAS que utilice el mismo canal radioeléctrico;
 - el efecto de apantallamiento de la interferencia que producen los objetos artificiales (por ejemplo, edificios) en entornos urbanos;
 - un análisis más detallado que incluya el efecto de la relación transmisión/silencio para terminales NWAS.
-