

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1334\*, \*\*

**Criterios de protección para sistemas del servicio fijo que comparten las mismas bandas de frecuencias en la gama de 1 a 3 GHz con el servicio móvil terrestre**

(Cuestión UIT-R 133/9)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que muchos sistemas del servicio fijo y del servicio móvil terrestre comparten bandas de frecuencias entre 1 y 3 GHz;
- b) que muchos sistemas del servicio fijo funcionan o se prevé su funcionamiento en dichas bandas compartidas, tanto en modo analógico como digital, para aplicaciones punto a punto y punto a multipunto;
- c) que es necesario especificar la máxima interferencia admisible en el servicio fijo;
- d) que se requieren separaciones geográficas razonables para permitir la compartición de asignaciones de frecuencias superpuestas;
- e) que, en algunos casos, se requieren separaciones geográficas para permitir la compartición de asignaciones con polarización ortogonal;
- f) que el ruido térmico típico en el receptor de sistemas del servicio fijo según se indica en la Recomendación UIT-R F.758 es del orden de  $-140$  dB(W/MHz),

*recomienda*

- 1** que los criterios de protección para el servicio fijo que comparte bandas de frecuencias entre 1 y 3 GHz con el servicio móvil terrestre se establezcan como sigue (véase la Nota 1):
  - que la máxima interferencia combinada proveniente del servicio móvil terrestre, incluidas las estaciones de base y las estaciones móviles, sea de tal magnitud que la degradación hasta el umbral de un receptor del servicio fijo no sobrepase 1 dB en condiciones normales de propagación;
- 2** que el Anexo 1 sirva de base para la información adicional relativa a la protección de sistemas del servicio fijo que comparten bandas de frecuencias entre 1 y 3 GHz con el servicio móvil terrestre.

NOTA 1 – En ciertas circunstancias, bajo condiciones de propagación desfavorables, puede ser necesario establecer un criterio adicional para evitar la degradación excesiva hasta el umbral del servicio fijo (por ejemplo, una degradación que sobrepase 10 dB) para un porcentaje reducido de tiempo. Las administraciones interesadas deberían convenir el nivel de dicha degradación y el porcentaje de tiempo.

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones (Grupos de Trabajo 3K y 3M) y de Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones (Grupos de Trabajo 8A y 8F).

\*\* La Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2004.

NOTA 2 – Deben proseguir los estudios para mejorar la presente Recomendación, en estrecha colaboración con la Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones (Grupo de Trabajo 8A). Se solicita de las administraciones y otras organizaciones que presenten propuestas al UIT-R.

## Anexo 1

### Consideraciones sobre la protección del servicio fijo que comparte bandas de frecuencias entre 1 y 3 GHz con el servicio móvil terrestre

#### 1 Introducción

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) introdujo gran número de enmiendas y agregados al Cuadro de atribución de bandas de frecuencias. En el caso de los futuros sistemas públicos de telecomunicaciones móviles terrestres (FSPTMT), las bandas 1 885-2 025 MHz y 2 110-2 200 MHz se identificaron mediante el número 5.388 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Estas bandas son ya de uso extendido para los sistemas de relevadores radioeléctricos. Conociéndose ahora las decisiones de la CAMR-92, deberían proseguir los estudios de compartición entre los servicios involucrados.

La Resolución 113 (CAMR-92) se ocupa concretamente de la compartición y de los ajustes a que dan lugar en el servicio fijo las reatribuciones de frecuencias en la gama 1-3 GHz.

Los sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda 1-3 GHz constituyen para muchas administraciones un aspecto fundamental del servicio de telecomunicaciones. De ahí que el estudio de la compartición del espectro con otros servicios deba prestar la debida consideración al mantenimiento del alto grado de disponibilidad y calidad de funcionamiento que requieren los servicios de telecomunicaciones.

El presente Anexo examina, mediante ejemplos, la viabilidad de la compartición de frecuencias entre sistemas inalámbricos fijos punto a punto del servicio fijo y sistemas del servicio móvil terrestre (SMT).

El criterio adoptado en este Anexo reconoce que:

- la formulación de directrices de compartición para sistemas del servicio fijo y del servicio móvil terrestre debería contemplar las características y los objetivos de calidad de funcionamiento de los sistemas respectivos;
- un estudio basado en la consideración de varios ejemplos de compartición del espectro puede facilitar una comprensión más amplia de los aspectos técnicos involucrados, y
- las interferencias mutuas entre sistemas del servicio fijo y del servicio móvil terrestre pueden ser más explícitas cuando se describen estadísticamente, por lo que la aplicación de un método estadístico al abordar esta cuestión de compartición del espectro permitiría formular directrices que reflejen adecuadamente la calidad de funcionamiento en condiciones de compartición. También podría ser necesario que los niveles reales de interferencia se consideren de manera determinista para cada situación.

Los sistemas del servicio móvil comprenden una serie de entornos de funcionamiento. Por ejemplo, entre ellos figuran las comunicaciones personales, móviles y por satélite. A los efectos de este Anexo, el segmento móvil (interfaz R1) se refiere a los servicios de comunicaciones entre vehículos y estaciones de base. El segmento personal (interfaz R2) supone el uso de comunicaciones

personales en un entorno peatonal, tanto interior como exterior. El segmento de satélite puede estar referido a servicios tales como las funciones de radiobúsqueda, el enlace con estaciones de base distantes o el suministro de una extensión temporal del sistema. El presente estudio de compartición se limita a las interfaces R1 y R2 de sistemas del servicio móvil terrestre.

## 2 Características de los servicios fijo y móvil

### 2.1 Sistemas fijos

El Cuadro 1 que sigue presenta ejemplos de las características técnicas de algunos sistemas inalámbricos fijos.

CUADRO 1a

#### Ejemplo de sistemas inalámbricos fijos digitales en la banda 1-3 GHz

| Modulación                              | MDP-4 O | MAQ-64 |
|---|---------|--------|
| Ganancia de antena, $G_{FS}$ (dBi)      | 33      | 33     |
| Potencia de transmisión, $P_{FS}$ (dBW) | 7       | 1      |
| p.i.r.e. (dBW)                          | 40      | 34     |
| Umbral mínimo de ruido (dBW)            | -125    | -130   |
| Anchura de banda, $B_f$ (MHz)           | 29      | 10     |
| $I$ máxima ( $I/N = -6$ ) (dBW)         | -131    | -136   |

MDP-4 O: Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria descentrada.

MAQ-64: Modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados.

CUADRO 1b

#### Ejemplo de sistemas punto a multipunto en la banda 1-3 GHz

| Parámetro  | Estación central              | Estación exterior                                   |
|--|-------------------------------|---|
| Tipo de antena   | Omnidireccional/<br>sectorial | Parábola/<br>bocina                                 |
| Ganancia de antena (dBi)   | 10/13                         | 20 (sistemas analógicos)<br>27 (sistemas digitales) |
| p.i.r.e. (máxima) (dBW):   |                               |   |
| – Sistemas analógicos  | 12                            | 21  |
| – Sistemas digitales   | 24                            | 34  |
| Factor de ruido (dB)   | 3,5                           | 3,5   |
| Pérdida de la línea de alimentación (dB)                                   | 2                             | 2   |
| Anchura de banda de frecuencia intermedia (MHz)                            | 3,5                           | 3,5   |
| Potencia máxima de interferencia admisible a largo plazo (20% del tiempo): |                               |   |
| – total (dBW)  | -142                          | -142  |
| – (dB(W/4 kHz))  | -170                          | -170  |
| – (dB(W/MHz))  | -147                          | -147  |

Entre otras características propias del funcionamiento de sistemas inalámbricos fijos se cuentan:

- la naturaleza de la propagación, generalmente caracterizada por periodos netos de desvanecimiento y no desvanecimiento, en los que el desvanecimiento tiene lugar como resultado de condiciones anómalas de propagación (suele ocurrir tarde en la noche y/o en las primeras horas de la mañana), que pueden entrañar efectos de obstrucción;
- el margen funcional de desvanecimiento uniforme, generalmente cifrado entre 30 y 40 dB;
- el mecanismo primario de errores. Para sistemas de baja capacidad (menos de 10 Mbit/s) corresponde al desvanecimiento del nivel de la señal (y no a los efectos de dispersión), y
- los requisitos de calidad de funcionamiento descritos en las Recomendaciones UIT-R F.594, UIT-R F.634, UIT-R F.696, UIT-R F.697, UIT-R F.1168 y UIT-R F.1703.

## 2.2 Sistemas del servicio móvil terrestre

En el Cuadro 2 se presentan las características técnicas que se suponen para las interfaces R1 y R2 del servicio móvil terrestre.

CUADRO 2

Parámetros de compartición en el servicio móvil terrestre

|  | Ejemplo 1         | Ejemplo 2 | Ejemplo 3 | Ejemplo 4 |
|--|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| Interfaz   | R2, base/personal | R1        | R2        | R2        |
| Método de acceso                                     | AMDT              |           |           | AMDF/AMDT |
| Método de dúplex                                     | DDT               |           |           | DDT       |
| Potencia de transmisión (W)                          | 0,02              | 1         | 0,12      | 0,01      |
| Ganancia de antena, $G_m$ (dBi)                      | 0                 | 0         | 0         | 0         |
| p.i.r.e. (dBW)                                       | -17               | 0         | -9        | -20       |
| Umbral mínimo de ruido (dBW)                         | -152              | -152,5    | -146,2    |           |
| Anchura de banda de canal, $B_m$ (kHz)               | 50                | 135       | 576       | 100       |
| $I$ máxima (10% de $I$ exterior) (dBW)               | -149              |           |           |           |
| Número de frecuencias reutilizadas                   | 16                |           |           | 10-15     |
| Móviles interferentes por canal <sup>(1)</sup> , $m$ | 1/16              | 1         | 5         | 1/4       |

AMDF: Acceso múltiple por división en frecuencia.

AMDT: Acceso múltiple por división en tiempo.

DDT: Dúplex por división de tiempo.

<sup>(1)</sup> El total,  $n$ , de estaciones móviles que causan interferencias a una estación fija equivale a  $n = m B_f/B_m$ . Los valores de  $m$  son los utilizados en los cálculos de esta Recomendación.

La principal consideración específica de los FSPTMT consiste en la esencia móvil de las estaciones personales. Cabe esperar que la demanda de estaciones personales de los FSPTMT se extienda prácticamente por todas partes. La compartición del espectro entre el servicio fijo y los FSPTMT debería ser objeto de una cuidadosa coordinación. Entre las posibles características de la compartición de los FSPTMT figuran una agilidad de frecuencia capaz de permitir la prevención dinámica de canales radioeléctricos que pudieran causar interferencia al servicio fijo, y el uso del control dinámico de potencia.

Otras características propias del servicio móvil, incluido el funcionamiento de los FSPTMT son como sigue:

- la naturaleza de la propagación, particularmente el hecho que el desvanecimiento tiene lugar como resultado de la propagación por trayectos múltiples debido a la reflexión/refracción que se produce al chocar con la superficie de edificios y otros obstáculos, más que como anomalías de la propagación;
- la naturaleza estadística del margen de desvanecimiento de funcionamiento;
- el carácter aleatorio de los emplazamientos de los sistemas del servicio móvil dentro de la zona de servicio de los FSPTMT, produciendo un entorno de interferencias variable estadísticamente;
- la (esperada) fluctuación del tráfico del servicio móvil según las horas del día. En particular, que un tráfico intenso suele tener lugar durante el día (sobre todo en horas de trabajo), con escasa intensidad de tráfico tarde en la noche y en la madrugada, y
- los requisitos de calidad de funcionamiento, que podrían llegar a exigir un funcionamiento satisfactorio en el 90% de la zona de servicio para la interfaz R1 y el 99% de la zona de servicio para la interfaz R2.

### **3 Situaciones de interferencia**

Existen cuatro trayectos básicos de interferencia a considerar en el análisis de interferencia. Son como sigue:

*Para el enlace de ida:*

- a) el servicio fijo interfiere en las estaciones móviles (EM) exteriores;
- b) la estación de base (EB) interfiere en el servicio fijo.

*Para el enlace de retorno:*

- c) las estaciones personales exteriores interfieren en el servicio fijo;
- d) el servicio fijo interfiere en la estación de base.

Se considera generalmente que el funcionamiento en canal común del servicio fijo y del servicio móvil en una misma zona geográfica causará interferencias inaceptables al servicio fijo. El análisis que sigue supone la elaboración de «objetivos de compartición» para los trayectos de interferencia b) y c) mencionados. Estos objetivos de compartición podrían satisfacerse a continuación mediante una separación geográfica y/o de frecuencia entre los sistemas de los servicios fijo y móvil.

### **4 Objetivos de compartición**

Los objetivos de compartición definen las condiciones bajo las cuales la compartición se estima viable. Para elevar al máximo la eficacia en la utilización del espectro han de considerarse las características pertinentes de los sistemas respectivos. Es necesario entonces definir requisitos en materia de relación entre potencia útil y de interferencia y/o de relación entre potencia de interferencia y ruido teniendo en cuenta que tanto la potencia útil y la potencia de interferencia como ambas a la vez pueden dar lugar a una distribución estadística.

Para cada una de las situaciones señaladas como b) y c) en el § 3, los siguientes objetivos estadísticos de compartición tienen como finalidad establecer directrices generales de compartición en las que los valores de los parámetros  $A1$ ,  $A2$ ,  $X1$  y  $X2$  deben recoger los objetivos de calidad de funcionamiento de los sistemas respectivos:

- de EB en el servicio fijo: permite la compartición del espectro en una posición del servicio fijo y de la EB en donde:

$$\text{Prob}[\text{Potencia de interferencia}^* \geq A1 \text{ (dBm)}] < X1 \quad (1)$$

- del servicio móvil en el servicio fijo: permite la compartición del espectro en una región en la que, en cada una de sus ubicaciones:

$$\text{Prob}[\text{Potencia de interferencia}^{**} \geq A2 \text{ (dBm)}] < X2 \quad (2)$$

\* La potencia recibida en condiciones nominales de propagación no varía en el tiempo y se designa como «potencia recibida a largo plazo». No obstante, en condiciones anómalas de propagación, la potencia puede variar en el tiempo de manera aleatoria.

\*\* Potencia de interferencia media que abarca las variaciones de señal causadas por la propagación por trayecto múltiple y, en los casos en que así procede, obtenida de la suma de fuentes múltiples de interferencia.

## 5 Criterios de compartición

Los criterios de compartición definen la separación geográfica necesaria entre los sistemas del servicio móvil y fijo para especificar los respectivos objetivos de compartición.

Para calcular los criterios de compartición, se definen los siguientes parámetros de sistema:

$B_f$ : anchura de banda Nyquist del sistema fijo (MHz)

$L_{ff}$ : pérdida del alimentador y la antena de una estación fija (dB).

La misma nomenclatura se aplica a las porciones correspondientes a R1 (dispositivos portátiles en vehículos y de gran potencia) y R2 (personales):

$P_{tm}$ : potencia de transmisión de una estación móvil del servicio móvil (a la entrada del alimentador de la antena) (dBm)

$L_{fm}$ : pérdida del alimentador y la antena de una estación móvil del servicio móvil

$P_{tb}$ : potencia de transmisión de una estación de base del servicio móvil (a la entrada del alimentador de la antena) (dBm)

$L_{fb}$ : pérdida del alimentador y la antena de una estación de base del servicio móvil (dB).

(A los efectos de este análisis, el término estación móvil se refiere tanto a las estaciones móviles que funcionan en la interfaz R1 como a las estaciones personales que funcionan en la interfaz R2.)

Una caracterización estadística adecuada del canal radioeléctrico entre las estaciones móviles de los FSPTMT (funcionamiento en R1 y R2) y las estaciones del sistema fijo comporta:

- desvanecimiento rápido, que, en el caso de señales de banda estrecha, genera una distribución de Rayleigh de la envolvente de la señal instantánea recibida en todo un sector (o zona local);
- desvanecimiento de sombra, que genera una distribución logarítmica normal de la señal mediana recibida del sector y se caracteriza por la «dispersión (dB) del desvanecimiento de sombra» (es decir, la desviación típica) que se designa con el símbolo  $\sigma$ ;

- señal mediana recibida, que se define como la mediana de la señal mediana recibida del sector.

En el punto de interés del sistema conviene definir:

$U_s$ : potencia mediana recibida de todo el sector (dBm)

$U_m$ : potencia mediana recibida (mediana de  $U_s$ ) (dBm).

La pérdida mediana de transmisión (entre los terminales de antena de transmisión y de recepción, sin incluir las pérdidas de la antena del alimentador), designada por  $L_t$  y que definen muchos modelos de propagación, tales como Okumura, Lee, Elgi y otros, se expresa por la relación:

$$\text{Pérdida mediana de transmisión} = L_t = P_t - U_m \quad (3)$$

donde  $P_t$  (dBm) representa la potencia de transmisión; el significado de  $U_m$  (dBm) ya se ha definido más arriba.

### 5.1 Criterios de compartición de las estaciones del servicio móvil con sistemas fijos

En este caso, las dificultades aparecen al relacionar los parámetros  $A_2$  y  $X_2$  con los objetivos de calidad de funcionamiento del sistema fijo. En parte ello se debe a los amplios márgenes de desvanecimiento uniforme generalmente asociados a los sistemas fijos, así como a la imprecisión de sus estadísticas de desvanecimiento. Sin embargo, teniendo presente la forma del objetivo de compartición, parece razonable especificar éste como la potencia de interferencia que no degrada el margen de desvanecimiento del sistema fijo en más de 1 dB para un porcentaje dado de tiempo. Pero no está claro cuál sería el valor apropiado de  $X_2$ , salvo que, en virtud de los rigurosos objetivos de calidad de funcionamiento que generalmente se aplican a los sistemas fijos, probablemente debería ser la escasa magnitud. Como se describe más adelante, la distribución de la interferencia total se modela con forma logarítmico-normal y para los fines que nos ocupan, parecería razonable un valor de  $X_2 = Q(k)$ ,  $k = 4$  ó  $5$  donde  $Q(k)$  representa el «área bajo la cola gaussiana», que viene dada por:

$$Q(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_k^{\infty} \exp(-x^2/2) dx \quad (4)$$

La potencia de la interferencia recibida por el sistema fijo tendrá por lo general origen en múltiples estaciones móviles. Su número, designado con la letra  $N$ , dependerá de muchos factores. Pueden ser estimaciones apropiadas las siguientes:

- *Interferencia R1*: la que se produce cuando una sola estación móvil en cada frecuencia portadora funciona dentro del segmento de frecuencias común.
- *Interferencia R2*: la que se produce cuando cinco estaciones móviles en cada frecuencia portadora funcionan dentro del segmento de frecuencias común.

La distribución de la potencia de la interferencia total se calcula a partir de la suma de potencias de las variables lognormales. Si todas las fuentes de interferencia tienen una potencia mediana,  $U_m$ , y una desviación típica,  $\sigma$ , puede obtenerse una aproximación de la interferencia total mediante una distribución logarítmica normal de la  $U_{mN}$  media y la desviación típica  $\sigma_N$ , donde:

$$U_{mN} = U_m + H \quad (5)$$

$$\sigma_N^2 = 43,43 \log_{10} [(\exp(\lambda^2 \sigma^2) + N - 1) / N] \quad (6)$$

siendo:

$$H = 10 \log_{10} N + 5 \log_{10} [N \exp(\lambda^2 \sigma^2) / (N - 1 + \exp(\lambda^2 \sigma^2))] \quad (7)$$

y  $\lambda = 0,1 \log_e 10 = 0,2303$ .

Teniendo en cuenta las definiciones e hipótesis de propagación antes mencionadas,  $U_{mN}$  (dBm) se caracteriza por una distribución gaussiana con una mediana definida por:

$$U_{mN} = P_{tm} - L_{fm} - L_{ff} - L_t + H \quad (8)$$

y una desviación típica  $\sigma_N$ . El umbral correspondiente a  $U_{mN}$  viene dado por:

$$U_{mN} = A2 - k \sigma_N \quad (9)$$

con lo que se obtienen los criterios de compartición:

$$L_t > P_{tm} - A2 - L_{fm} - L_{ff} + H + k \sigma_N \quad (10)$$

## 5.2 Ejemplos a 2 GHz

Los parámetros utilizados en los siguientes ejemplos se han extraído de los Cuadros 1 y 2 (ejemplos 2 y 3).

Para las estaciones móviles que funcionan en la interfaz R1 o la interfaz R2, la dispersión  $\sigma$  (dB) del desvanecimiento de sombra se fija en 6,0 dB (típico para el medio urbano y el suburbano).

### 5.2.1 De FSPTMT a sistemas fijos

El umbral de potencia de interferencia se supone que está 6 dB por debajo del umbral mínimo de ruido.

Objetivo de compartición:

$$\text{Prob}[U_{mN} > -113,9 - 6,0 + 3,0 \text{ (dBm)}] < X2 \quad X2 = Q(4) \text{ (véase la ecuación (4))} \quad (11)$$

### 5.2.2 FSPTMT-R1

Sobre la base de las estimaciones que preceden, se supone  $N=5,0$ , con lo que  $H=9,48$  dB y  $\sigma_N=3,80$  dB. Los criterios de compartición pasan a ser:

$$L_t > 30,0 - (-116,9) - 3,0 + 9,48 + (4,0 \times 3,80) = 168 \text{ dB} \quad (12)$$

### 5.2.3 FSPTMT-R2

Sobre la base de las estimaciones que preceden, se supone  $N=10,0$ , con lo que  $H=13,2$  dB y  $\sigma_N=2,93$  dB. Los criterios de compartición pasan a ser:

$$L_t > 20,8 - (-116,9) - 3,0 + 13,2 + (4,0 \times 2,93) = 159 \text{ dB} \quad (13)$$

Estos ejemplos ilustran un posible enfoque para la asignación de valores a los parámetros  $A_i$  y  $X_i$ , y un método de cálculo de los criterios de compartición. A partir de las características de las antenas fijas y móviles, y utilizando modelos adecuados de propagación, los criterios de compartición que acabamos de calcular pueden transformarse en las distancias de exclusión requeridas.

Es necesario proseguir el estudio para determinar valores generalizados de los parámetros  $A_i$  y  $X_i$  con los correspondientes requisitos de aislamiento. Han de considerarse los objetivos de calidad de funcionamiento tanto a largo como a corto plazo, determinando asimismo los modelos más representativos de propagación para los diversos trayectos de interferencia.

Los estudios sobre la propagación serán decisivos para definir la compartición y es conveniente que la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones proceda de inmediato a estudiar los modelos apropiados.

## 6 Análisis de interferencia

Como una primera estimación de las distancias de separación requeridas entre servicios fijos y las zonas de servicio del segmento personal del servicio móvil (interfaz R2), consideraremos aquí las potencias de interferencia medianas entre dichos servicios cuando la pérdida de trayecto entre ellos es de unos 130 dB. Se señala que este análisis no tiene en cuenta la naturaleza estadística de las potencias de interferencia en torno al nivel mediano (caso desarrollado en el § 5), cuya distribución influirá en las distancias de exclusión requeridas.

Para una pérdida de trayecto de 130 dB:

$$L_t = FSL - G_{FS} - G_M = 130$$

donde:

$FSL$ : pérdida en el espacio libre

$G_{FS}$ : ganancia de antena del servicio fijo

$G_M$ : ganancia de antena del servicio móvil.

El servicio móvil y otras fuentes de interferencia no deberían producir más de un 25% de degradación de la calidad de funcionamiento de los sistemas del servicio fijo. Esto corresponde a  $I/N = -6$  dB y un nivel de interferencia total de  $I_T = -136$  dBW en un receptor de radiofrecuencias del servicio fijo de 10 MHz de anchura de banda. Suponiendo una asignación dinámica de canal en el ejemplo 4 del Cuadro 2, pueden residir hasta 25 usuarios del servicio móvil alrededor del punto más desfavorable de  $-3$  dBr, pudiendo aplicarse el nivel de interferencia correspondiente a la exposición única más conservador,  $I_1 = I_T - 10 \log 25 \approx -150$  dBW. Si una unidad móvil tiene una p.i.r.e. de  $-20$  dBW (potencia de salida de 10 mW y ganancia de antena de 0 dBi), puede ser necesario un aislamiento de  $-20 - (-150) = 130$  dB. Puesto que la pérdida de transmisión en el trayecto del rayo,  $L_t$ , cerca del punto más desfavorable por delante de la antena de radiocomunicaciones del servicio fijo y a  $-3$  dBr del eje de alineación se eleva a 78,5 dB, se requiere un aislamiento adicional de  $130 - 78,5 = 51,5$  dB. Puede lograrse funcionando en un canal adyacente. En algunos casos, por ejemplo cuando un transmisor del servicio móvil funciona en el borde de un canal radioeléctrico del servicio fijo, es posible el funcionamiento en canal común.

A una distancia de 3,3 km detrás de la antena de radiocomunicaciones del servicio fijo,  $L_t = 78,5 - 3,0 + 60,0 \approx 135,5$  dB (la pérdida de transmisión en el trayecto del rayo a  $-3$  dBr del eje de alineación más la relación anterior-posterior de la antena); aquí suponemos una relación anterior/posterior de 60 dB, correspondiente a un tipo de antena de calidad de funcionamiento sumamente elevada. Como  $135,5 > 130$ , los transmisores móviles que se mueven a 3,3 km de distancia y por detrás de la antena de radiocomunicaciones del servicio fijo pueden estar en condiciones de utilizar la misma frecuencia que el correspondiente radioreceptor del servicio fijo. Es necesario no obstante extender el análisis a toda la red de radiocomunicaciones del servicio fijo

de la zona. El punto situado a 3,3 km detrás de un receptor del servicio fijo puede encontrarse cerca del haz principal del tramo adyacente y éste, si el plan es de dos frecuencias, ocuparía el mismo canal receptor. Esto implica la posibilidad de una zona de exclusión anular alrededor de cada estación del servicio fijo, en que las estaciones impares reciban en un determinado conjunto de canales (por ejemplo, los canales de ida) y las estaciones pares lo hagan en el correspondiente conjunto de canales de retorno. En el caso de zonas de exclusión en forma de 8 (por ejemplo, el contorno 130 dB), en el peor de los casos la envolvente de todas las zonas de exclusión de frecuencia común puede formar un corredor a lo largo de la ruta del servicio fijo. No obstante, es muy probable que otros canales de frecuencia se encuentren disponibles dentro de dicha zona.

### 6.1 Análisis del enlace de ida

Los parámetros utilizados en los siguientes ejemplos se han extraído de los Cuadros 1 y 2 (ejemplo 1).

*Interferencia causada por la estación de base personal al servicio fijo*

Puede suponerse una reutilización de 16 frecuencias en la interfaz personal.

∴ El número de usuarios simultáneos por anchura de banda de canal del servicio fijo equivale por tanto a:

*Estación de base*

$$\frac{29\,000}{50 \times 16} = 36,2 \text{ (15,6 dB)}$$

$$\frac{10\,000}{50 \times 16} = 12,5 \text{ (11 dB)}$$

$$\frac{3\,500}{50 \times 16} = 4,4 \text{ (6,4 dB)}$$

La necesaria pérdida de transmisión de trayecto entre la estación de base personal y el receptor del servicio fijo es:

$$\begin{aligned} L_t(\text{Estación de base personal} \rightarrow \text{Servicio fijo}) &\geq -17 + (6,4 \text{ a } 15,6) - (-131 \text{ a } -140,5) \\ &\geq 129,6 \text{ dB (29 MHz)} \\ &\geq 130,0 \text{ dB (10 MHz)} \\ &\geq 129,9 \text{ dB (3,5 MHz)} \end{aligned} \quad (14)$$

Esto es igual aproximadamente al requisito de pérdida de transmisión en el trayecto del rayo, cifrado en 130 dB. No se requiere aislamiento adicional entre la estación de base personal y el servicio fijo.

### 6.2 Análisis del enlace de retorno

Interferencia producida por las estaciones exteriores personales al servicio fijo.

La necesaria pérdida de transmisión del trayecto entre la estación personal y el servicio fijo es:

$$\begin{aligned} L_t(\text{Estación personal} \rightarrow \text{Servicio fijo}) &\geq -17 + (6,4 \text{ a } 15,6) - (-131 \text{ a } -140,5) \\ &\geq 129,6 \text{ dB (29 MHz)} \\ &\geq 130,0 \text{ dB (10 MHz)} \\ &\geq 129,9 \text{ dB (3,5 MHz)} \end{aligned} \quad (15)$$

No se requiere aislamiento adicional por encima del requisito de 130 dB entre las estaciones personales y el servicio fijo.

## 7 Resumen: aislamiento de 130 dB (pérdida de transmisión en el trayecto del rayo)

### 7.1 Enlace de ida

Interferencia de la estación de base al servicio fijo:

Aislamiento suficiente para la estación de base personal.

### 7.2 Enlace de retorno

Interferencia de la estación personal al servicio fijo:

Aislamiento suficiente para la estación personal.

### 7.3 Distancia de separación para pérdida de transmisión en el trayecto del rayo de 130 dB

Considerando una relación anterior/posterior ( $F/B$ ) de antena de aproximadamente 44 dB:

$$L_t = 92,5 + 20 \log f + 20 \log d - 33 + 44 (F/B) = 130 \text{ dB} \quad (16)$$
$$\therefore d = 0,2 \text{ km}$$

Para una pérdida en el espacio libre de 130 dB en 2 GHz,  $d = 37$  km. Es de suponer que la distancia real de separación requerida para alcanzar el aislamiento de 130 dB dependerá tanto de los resultados de una coordinación minuciosa de las frecuencias como de los diseños existentes de enlaces de los sistemas, teniendo en cuenta parámetros tales como la altura de la antena, las condiciones del terreno, la discriminación disponible por polarización cruzada, y otros. El Apéndice 1 contiene otros ejemplos de cálculos de coordinación.

## 8 Conclusiones

- Las distancias de separación de unos 70 a 120 km como mínimo (suponiendo condiciones de propagación con pérdida en el espacio libre) permitirán el funcionamiento en canal común entre el servicio fijo y el segmento personal del servicio móvil.
- Por extensión, suponiendo un rechazo típico de interferencia de canal adyacente de 50-70 dB, el servicio fijo puede utilizarse en la misma zona geográfica que el servicio móvil cuando las frecuencias de funcionamiento no se superponen.
- Para facilitar la compartición, se requiere proseguir el estudio con el fin de elaborar descripciones estadísticas de las interferencias mutuas entre los sistemas fijos y el servicio móvil, así como modelos apropiados de propagación.
- Es imperioso efectuar simulaciones de las condiciones de propagación correspondientes al entorno móvil.

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Ejemplos de distancias de coordinación para la interferencia causada por el servicio móvil al servicio fijo

Cálculos realizados para el caso de interferencia del lóbulo principal, considerando una discriminación por polarización cruzada de 25 dB entre el servicio fijo y las estaciones de base personales.

$$I = -131 \text{ a } -140,5 = \text{p.i.r.e.} + 10 \log(\text{eficacia de reutilización}) - 92,5 - 20 \log f - 20 \log d - 25 + G_{FS}$$

Para MDP-4 O:  $-131 = -17 + 15,6 - 92,5 - 6,02 - 20 \log d - 25 + 33$  con  $d = 90$  km

Para MAQ-64:  $-136 = -17 + 11 - 92,5 - 6,02 - 20 \log d - 25 + 33$  con  $d = 94$  km

Un aislamiento suficiente corresponde a una distancia de separación del orden de 90-95 km. De manera similar al del ejemplo 1, pero sin disponer de la ventaja de discriminación por polarización cruzada a una distancia de separación de aproximadamente 120 km, sería necesario un aislamiento adicional del orden de 23 dB, lo cual puede obtenerse mediante pequeños ángulos de discriminación con relación al lóbulo principal.

En el caso del canal adyacente, que proporciona un aislamiento del orden de 50-70 dB es posible el funcionamiento copolar en la misma zona geográfica entre el segmento R2 del servicio móvil y el servicio fijo.

En el Cuadro 3 figura un resumen de los ejemplos de requisitos de compartición de bandas.

CUADRO 3

#### Ejemplos de requisitos de compartición de bandas entre el servicio móvil y el servicio fijo

| Caso               | Canal adyacente  | Canal común  |
|--------------------|--|--|
| R2 → Servicio fijo | <i>Contrapolar:</i> Geografía idéntica<br>(en la misma posición)<br><br><i>Copolar:</i> Separación de 0 a 5 km | <i>Contrapolar:</i> Separación de 90 a 95 km<br><br><i>Copolar:</i> Separación de 120 km más la<br>discriminación de antena de 23 dB |