

## RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1278\*

**VIABILIDAD DE LA COMPARTICIÓN ENTRE EL SERVICIO DE EXPLORACIÓN  
DE LA TIERRA POR SATÉLITE (ESPACIO-TIERRA) Y LOS SERVICIOS FIJO,  
ENTRE SATÉLITES Y MÓVIL EN LA BANDA 25,5-27,0 GHz**

(Cuestión UIT-R 220/7)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los servicios fijo, entre satélites (SES) y móvil tienen asignaciones, con carácter primario, en la banda 25,5-27,0 GHz;
- b) que en el § 1.9.4.2 del orden del día de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1997) (CMR-97) se aborda el estudio de una atribución al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) cerca de la banda 26 GHz;
- c) que en la Recomendación UIT-R SA.1024 se indica la necesidad de establecer enlaces descendentes en el SETS en banda ancha por encima de 25 GHz, a fin de transmitir los futuros datos obtenidos por sensores de alta resolución;
- d) que las distancias de separación\*\* necesarias entre las estaciones terrenas receptoras del SETS y las estaciones transmisoras del servicio fijo son relativamente pequeñas (en general, entre 10 y 20 km) debido a que los efectos atmosféricos, la pérdida por vegetación y la pérdida en el espacio aumentan significativamente en relación con las frecuencias inferiores;
- e) que actualmente no se conoce que esté previsto la utilización de esta banda por parte del servicio móvil;
- f) que esta banda está siendo utilizada por algunos países para aplicaciones fijas de alta densidad,

*observando*

- a) que debido al pequeño número de estaciones terrenas del SETS que está previsto desplegar en todo el mundo (10 a 40 estaciones), la coordinación entre los sistemas fijos y móviles terrenales y las estaciones del SETS no impondrían limitaciones a ninguno de estos servicios,

*recomienda*

**1** que se prevea la posibilidad de compartición entre los satélites transmisores del SETS y los satélites de retransmisión de datos receptores (SRD) que funcionan en el SES cerca de 26 GHz, teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- que los satélites del SETS en órbita heliosincrónica o en una órbita próxima a las órbitas de los SRD no produzcan una densidad de flujo de potencia (dfp) superior a  $-155 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en 1 MHz en cualquier posición de la órbita de los satélites geostacionarios (OSG) durante más del 0,1% del tiempo (véase la Nota 1);
- que los satélites del SETS en órbitas distintas a las mencionadas anteriormente no produzcan dfp superiores a  $-155 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en 1 MHz en cualquier posición de la OSG durante más del 1% del tiempo;

**2** que, al diseñarse los sistemas del SETS, se tenga en cuenta la probabilidad de recibir breves episodios de interferencia procedente de satélites usuarios del SRD en el SES. Esta interferencia debería durar menos del 0,1% del tiempo;

**3** que los sistemas del SETS se diseñen para funcionar dentro de los límites de dfp aplicables en la actualidad en la banda:

| Límite ( $\text{dB(W/m}^2\text{)})$ en una anchura de banda de 1 MHz<br>para un ángulo de llegada, $\phi$ , por encima del plano horizontal |                        |                       |
|---|------------------------|-----------------------|
| $0^\circ - 5^\circ$   | $5^\circ - 25^\circ$   | $25^\circ - 90^\circ$ |
| -115  | $-115 + 0,5(\phi - 5)$ | -105                  |

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 8 y 9 de Radiocomunicaciones.

\*\* Se entiende por distancia de separación la distancia que pueda obtenerse en la coordinación.

4 que las distancias de separación necesarias entre las estaciones terrenas receptoras del SETS y las estaciones transmisoras del servicio fijo y móvil se calculen utilizando la metodología esbozada en el Anexo 1 y el criterio de interferencia para los enlaces espacio-Tierra del SETS contenidos en la Recomendación UIT-R SA.1026 (se entiende por distancia de separación la distancia que pueda obtenerse en la coordinación);

5 que se estudien las medidas adecuadas para las estaciones terrenas del SETS.

NOTA 1 – Las órbitas próximas se definen como dos órbitas circulares cuya diferencia en altitud es inferior a 500 m y su diferencia en el ángulo del plano orbital es menor de 1,5°.

## ANEXO 1

### Distancias de separación entre las estaciones terrenas del SETS y las estaciones del servicio fijo cerca de 26 GHz

Se ofrece a continuación una estimación de las distancias de separación para diversos tipos de aplicaciones de sistemas del servicio fijo y niveles de densidad de la potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.).

Se han obtenido de sistemas característicos del servicio fijo los parámetros de sistemas de radioenlaces punto a punto y sistemas punto a multipunto (P-MP). En el Cuadro 1 se resumen los datos técnicos aplicables.

CUADRO 1

#### Características del servicio fijo utilizadas en los estudios de compartición cerca de 26 GHz

|   | Radioenlace punto a punto |                                     | Estación central P-MP                        | Estación externa P-MP                       |
|---|---------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Modulación                                    | MDP-4                     | OQPSK                               |  |   |
| Capacidad (Mbit/s)                            | $2 \times 2/4 \times 2$   | $2 \times 2/4 \times 2/16 \times 2$ |  |   |
| Ganancia de antena (dBi)                      | 35-40 (antena parabólica) | 35-40 (antena parabólica)           | 6 (antena omnidireccional)<br>14-17 (sector) | 25-30 (planar)<br>30-35 (antena parabólica) |
| Potencia de salida (dBW)                      |                           |                                     |  |   |
| – Valor típico                                | -10                       | -10                                 | -10  | -10   |
| – Gama  | -25/0                     | -25/0                               |  |   |
| p.i.r.e. (dBW)                                | 25 a 30                   | 25 a 30                             | -4 a 7                                       | 15 a 25                                     |
| Anchura de banda en FI del receptor (MHz)     | 2,5/5,0                   | 2,5/5,0/20                          | 14/28/56/112                                 | 14/28/56/112                                |
| Factor de ruido (dB)                          | 10                        | 10                                  |  |   |
| Máximo C/N para BER = $1 \times 10^{-6}$ (dB) | 21 (23)                   | 18                                  |  |   |
| Densidad de la p.i.r.e. (dB(W/MHz))           | 21/23                     | 21/17                               | -10,5  | 7,5   |

BER: Proporción de bits erróneos.

MDP-4: Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria.

OQPSK: Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

En la Recomendación UIT-R SA.1027 figuran criterios de protección adecuados para el SETS. La densidad de potencia de la interferencia recibida no deberá superar el valor de -145 dB(W/MHz) durante el 1% del tiempo.

Además de los parámetros indicados, se ha determinado un valor de la densidad de la p.i.r.e. de caso más desfavorable de 36 dB(W/MHz) para los sistemas de radioenlaces. En el caso de los sistemas P-MP, se supone que la ganancia de antena necesaria depende básicamente de la velocidad de los datos transmitidos.

Los valores de densidad de la p.i.r.e. típicos resultarían de la combinación de las velocidades de datos más bajas con la menor ganancia de antena, y viceversa. Como caso más desfavorable, para calcular la distancia de separación necesaria se partió de la base de una combinación de la ganancia de antena más elevada y de una anchura de banda de 56 MHz. En el caso de estaciones centrales, se supuso que en general no sería viable ninguna desviación de la puntería (se utilizó un valor de 10 dBi en dos casos favorables), mientras que para las estaciones externas sería posible un desplazamiento limitado de la puntería. Se supuso una altura media de las antenas en torno a los 20 m.

Se llama la atención sobre la diferencia entre distancia de coordinación y distancia de separación. La distancia de coordinación no es sino la distancia desde una estación terrena receptora en la que debe estudiarse la posible aparición de interferencia si una estación terrena transmisora está más cerca que dicha distancia. Ello no significa que si la distancia entre ambas estaciones es inferior a la distancia de coordinación va a producirse inevitablemente interferencia. Se trata simplemente de un umbral a partir del cual debe investigarse la posible situación de interferencia.

La distancia de separación, por su parte, es la distancia límite por debajo de la cual es muy probable que se cause interferencia perjudicial a la estación terrena receptora, a menos que haya otro tipo de bloqueo del trayecto de la señal, por ejemplo, por la presencia de edificios, árboles o colinas. Las siguientes evaluaciones dan una idea de las distancias que pueden preverse.

La pérdida de espacio libre está dada por  $L_s \cong 20 \log (42 df)$  y es la pérdida de transmisión básica por dispersión de la señal en el espacio. Además de esta pérdida de transmisión básica, se producirá otra atenuación debido a los efectos atmosféricos, los obstáculos del trayecto y la difracción causada por la curvatura de la Tierra. La atenuación total de la señal,  $L_t$ , está dada por la suma de la pérdida de espacio libre,  $L_s$ , la pérdida atmosférica,  $L_a$ , las pérdidas por difracción,  $L_d$  y  $L_o$  y la vegetación,  $L_v$ .

$$L_t = L_s + L_a + L_d + L_o + L_v$$

La pérdida por absorción atmosférica puede estimarse mediante varias ecuaciones indicadas en el Apéndice S7 del Reglamento de Radiocomunicaciones, así como en la Recomendación UIT-R P.676. La velocidad de atenuación por kilómetro está compuesta de la atenuación debida al vapor de agua, la atenuación debida al oxígeno y la atenuación debida a todos los demás efectos.

En la Recomendación UIT-R P.526-2 (Ginebra, 1992) se propone una estimación de las pérdidas por difracción debidas a la curvatura de la Tierra, basándose en las ecuaciones siguientes:

$$L_d = - (F(X) + G(Y_1) + G(Y_2))$$

$$F(X) = 11 + 10 \log X - 17,6 X$$

$$G(Y) \cong 20 \log (Y + 0,1^3) \quad \text{para } 10 K < Y < 2$$

$$G(Y) \cong 17,6 (Y - 1,1)^{1/2} - 5 \log (Y - 1,1) - 8 \quad \text{para } 10 \quad Y > 2$$

$$X = 2,2 \beta f^{1/3} a_e^{-2/3} d$$

$$Y = 9,6 \times 10^{-3} \beta f^{2/3} a_e^{-1/3} h$$

donde:

$d$ : longitud de trayecto (km)

$h$ : altura de antena (m)

$f$ : frecuencia (MHz)

$a_e$ : radio de la Tierra equivalente ( $\cong 8\,500$  km)

$\beta$ : parámetro de polarización ( $\cong 1$ )

$K$ : factor de admitancia de superficie ( $< 0,01$ ).

La atenuación de la señal depende fundamentalmente de la distancia (km) y, en menor medida, de la altura de las antenas de los terminales transmisor y receptor. Tienen gran importancia los obstáculos del trayecto y la atenuación debida a la vegetación. Las estaciones del SETS están normalmente instaladas en un valle o una zona protegida por colinas o vegetación. Las colinas pueden considerarse obstáculos redondeados únicos para los cuales existen modelos de difracción.

La atenuación,  $L_o$ , debida a los obstáculos está compuesta de tres componentes, según se indica en la Recomendación UIT-R P.526-2 (Ginebra, 1992).

$$L_o = J(v) + T(\rho) + Q(\chi)$$

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$

$$v = 2 \operatorname{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \sqrt{\frac{2 \left( d_a + R \frac{\theta}{2} \right) \left( d_b + R \frac{\theta}{2} \right)}{\lambda d}}$$

$$T(\rho) = 7,2 \rho - 2\rho^2 + 3,6 \rho^3 - 0,8\rho^4$$

$$\rho^2 = \frac{R(d_a + d_b)}{d_a d_b \left( \pi \frac{R}{\lambda} \right)^{1/3}}$$

$$Q(\chi) = 12,5\chi \quad \text{para } 0 \leq \chi \leq 4$$

$$\chi = \left( \pi \frac{R}{\lambda} \right)^{1/3} \theta$$

donde:

- $\theta$ : ángulo entre ambos trayectos tangenciales al obstáculo
- $d$ : distancia entre las estaciones del SETS y del servicio fijo
- $d_a$ : distancia entre la estación del SETS y la cima de la colina (obstáculo)
- $d_b$ : distancia entre la estación del servicio fijo y la cima de la colina (obstáculo)
- $R$ : radio efectivo de la curvatura del terreno
- $\lambda$ : longitud de onda.

En la Recomendación UIT-R P.833 aparecen estimaciones sobre la atenuación debida a la vegetación en zonas boscosas. Como esta Recomendación abarca sólo las frecuencias menores de 10 GHz, la proporción de atenuación se ha extrapolado para 26 GHz, para la cual se calcula 1,7 dB por kilómetro.

La distancia de separación naturalmente también depende del acimut de la antena y disminuye con el desplazamiento de la dirección de la puntería. Deben tenerse en cuenta los valores de ganancia de antena entre -10 y +15 dBi. La desviación de la puntería de las antenas del servicio fijo tendrá también un efecto significativo en la distancia de separación.

En el Cuadro 2 se resumen las distancias de separación sobre la base de una combinación de diversas hipótesis. Se puede observar que incluso en el caso desfavorable con ganancias de antena máximas, pérdida de espacio libre y pérdida atmosférica únicamente, la distancia de separación es muy moderada. Obviamente, es bastante improbable que se dé una combinación de todos los efectos adversos, por lo cual se han enunciado además una serie de casos típicos. En realidad, las estaciones del SETS se encontrarán normalmente en zonas que están protegidas por colinas y vegetación. En tal caso, las distancias de separación se reducirán a valores aproximados de 10 a 20 km. Si se toma también en cuenta alguna desviación de puntería entre el ángulo máximo de radiación de la estación del servicio fijo y la ganancia máxima de la estación receptora del SETS, probablemente serán suficientes distancias de separación de aproximadamente 10 km.

La coordinación mediante separación geográfica y/o de frecuencia es muy ineficaz en la atribución de una banda compartida a 25,5-27,0 GHz a efectos de situar una estación terrena del SETS en una zona de despliegue del servicio fijo de alta densidad, debido a que las separaciones entre las estaciones adyacentes del servicio fijo instaladas en gran cantidad son más pequeñas que las distancias de separación necesarias en un orden de magnitud o más. Por consiguiente, una sola estación terrena del SETS situada en una zona de despliegue del servicio fijo de alta densidad daría lugar a un área de exclusión excesivamente amplia que iría desde varios bloques de edificios hasta toda una zona de servicio.

## Conclusiones

Esta evaluación indica que las distancias de separación son bastante más cortas cerca de 26 GHz, si se compara con frecuencias más bajas; por ejemplo, las bandas 2 GHz u 8 GHz. Los valores típicos que se basan en situaciones medias se traducen en distancias de separación de aproximadamente 10 km. El problema de coordinación se reducirá al mínimo si hay un número limitado de estaciones terrenas del SETS y si se aplican técnicas de reducción de la interferencia tales

como apantallamiento por el terreno. Sin embargo, algunos estudios han indicado que las estaciones de este servicio de pequeño tamaño y de bajo coste se encuentran en la etapa de diseño. Es imprevisible el número y la configuración de la instalación de estas estaciones y la coordinación con las mismas sería difícil y casi inviable para aplicaciones del servicio fijo de alta densidad. Por consiguiente, deben identificarse las medidas adecuadas (tales como el tamaño de antena) que debe tomar el SETS para no limitar la utilización de la banda por las administraciones que instalen sistemas del servicio fijo.

Puede concluirse en que un número limitado de estaciones del SETS pueden compartir frecuencias con el servicio fijo punto a punto así como con sistemas P-MP.

CUADRO 2

**Distancias de separación para diversas combinaciones de parámetros**

| Combinación de efectos  | Distancia de separación (km) |               |                  |                  |
|---|------------------------------|---------------|------------------|------------------|
|   | Punto a punto                | Punto a punto | Estación central | Estación externa |
|   | 21 dB(W/MHz)                 | 36 dB(W/MHz)  | P-MP             | P-MP             |
| <i>Caso más desfavorable:</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Máxima ganancia de antena del SETS (15 dBi)<br>Sin desviación de puntería de la estación de servicio fijo<br>Terreno llano, sin vegetación  | 34                           | 39            | 23               | 30               |
| <i>Parámetros medios más desviación de puntería de la estación de servicio fijo:</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Ganancia de antena media del SETS (3 dBi)<br>Desviación de la puntería de la estación del servicio fijo (40/40/10/20 dB)<br>Terreno llano, 50% de vegetación                                       | 2                            | 7             | 2                | 4                |
| <i>Parámetros medios más baja ganancia de antena de la estación del SETS:</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Baja ganancia de antena del SETS (-10 dBi)<br>Desviación media de la puntería de la estación del servicio fijo (20/20/0/10 dB)<br>Terreno llano, 50% de vegetación  | 4                            | 11            | 1,3              | 3                |
| <i>Parámetros medios más interposición de una colina:</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Ganancia de antena media del SETS (3 dBi)<br>Desviación de la puntería media de la estación del servicio fijo (20/20/0/10 dB)<br>Colina de 50 m de altura, 50% de vegetación  | 0,1                          | 0,9           | 0,1              | 0,1              |
| <i>Parámetros medios más interposición de bosque:</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Ganancia de antena media del SETS (3 dBi)<br>Desviación media de la puntería de la estación del servicio fijo (20/20/0/10 dB)<br>Terreno llano, bosque entre ambas estaciones   | 7                            | 12            | 4                | 6                |
| <i>Parámetros medios (caso típico):</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Ganancia de antena media del SETS (3 dBi)<br>Desviación media de la puntería de la estación del servicio fijo (20/20/0/10 dB)<br>Colina de 20 m de altura para un sistema punto a punto, sin colinas para un sistema P-MP,<br>50% de vegetación | 0,9                          | 7             | 4                | 8                |
| <i>Condiciones favorables en un terreno llano:</i><br>Máxima densidad espectral de p.i.r.e. del sistema del servicio fijo<br>Baja ganancia de antena del SETS (-10 dBi)<br>Desviación media de la puntería de la estación del servicio fijo (40/40/10/20 dB)<br>Terreno llano, bosque entre las estaciones  | 0,5                          | 2             | 0,5              | 1,0              |