

INFORME UIT-R M.1179-1

**Metodología para la determinación de criterios de interferencia
y de compartición de los servicios móviles por satélite**

(1990-2004)

1 Introducción

Un sistema móvil por satélite puede utilizar una amplia variedad de canales a fin de prestar los servicios necesarios para la satisfacción de diversas necesidades de comunicaciones de las estaciones terrenas de aeronave, de barco o del servicio móvil terrestre. Pueden establecerse canales para efectuar comunicaciones de control de la red, de datos, facsímil, vídeo y vocales. La calidad de funcionamiento y las características del enlace propias de estos canales pueden diferir y, en consecuencia, puede variar la tolerancia de cada comunicación a la interferencia. En este Informe se propone un enfoque estructural para determinar los criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite. Se analizan los aspectos estadísticos y se describen metodologías para la determinación de los niveles máximos admisibles de potencia de interferencia total y de una sola fuente.

2 Consideraciones estadísticas

En los sistemas móviles por satélite, los niveles de potencia de la señal deseada y del ruido varían con las condiciones de explotación y con el medio circundante, de modo tal que la calidad de funcionamiento del sistema se describe mejor por medio de un parámetro estadístico. Los niveles de potencia de la señal interferente varían de modo similar. Por consiguiente, los criterios de interferencia deben especificarse por medio de dos componentes:

- un umbral que defina el límite de potencia de la señal interferente, y
- un porcentaje de tiempo y, en el servicio móvil terrestre por satélite (SMTS), un porcentaje de lugares, que defina la probabilidad de que se exceda el umbral de interferencia. Se deben establecer criterios para dos porcentajes de tiempo y lugares como mínimo, para tener en cuenta la variabilidad de la interferencia y de los niveles absolutos de funcionamiento.

Criterios «a largo plazo» para determinar la interferencia admisible máxima que no debe excederse en más del $X\%$ del tiempo y, si procede, en el SMTS el $Y\%$ de los lugares. Los porcentajes de tiempo y lugares coinciden con los de los objetivos de calidad de funcionamiento a largo plazo (es decir, 10%-50%). Estos niveles de interferencia y los niveles a largo plazo de potencia de la señal deseada y del ruido definen la calidad de funcionamiento del sistema a largo plazo.

Criterios «a corto plazo» para determinar la interferencia admisible máxima que no debe excederse en más de un pequeño porcentaje ($M\%$) del tiempo (y en el SMTS, el $N\%$ de lugares).

Los criterios de interferencia admisibles a largo y a corto plazo deben determinarse tanto para la interferencia total (es decir, la interferencia proveniente de todas las fuentes) como para la interferencia única (es decir, la que proviene de una sola fuente).

3 Fundamentos de los criterios de interferencia total

Los objetivos de calidad de funcionamiento de los circuitos de comunicaciones se especifican en términos de umbrales de funcionamiento en banda de base y de los correspondientes porcentajes de tiempo y lugares para los que han de excederse esos umbrales. Estos objetivos pueden ser convertidos en relaciones entre la potencia de la señal deseada y la suma de las potencias del ruido y de la señal interferente con características equivalentes a ruido. Pueden calcularse balances de potencia de los enlaces del sistema asociados con los porcentajes de tiempo y lugares especificados en los objetivos de calidad de funcionamiento para sistemas representativos con el fin de determinar la calidad de funcionamiento que es posible alcanzar en ausencia de interferencia entre sistemas (por ejemplo, como en el Informe UIT-R M.760). Además, los niveles admisibles de interferencia entre sistemas deben incluirse de forma estadística en esos balances de potencia de enlace, a fin de comparar los niveles de calidad de funcionamiento requerido y obtenido. La siguiente ecuación define esta relación, en el supuesto de que el efecto total de las señales interferentes múltiples tiene características similares a ruido:

$$\frac{C}{(N+I)_t}(p) = \left[\left(\frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{mob} + \left(\frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{fdr} \right]^{-1} (p) \quad (1)$$

donde los subíndices «*mob*» y «*fdr*» indican los parámetros del enlace de servicio (es decir, enlace de 1,5/1,6 GHz) y del enlace de conexión, respectivamente, y:

- $C/(N+I)_t(p)$: relación (numérica) entre la potencia de la señal deseada y el ruido total más la potencia interferente total, que debe excederse en todos los porcentajes del tiempo y de los lugares salvo $p\%$
- N/C : relación (numérica) entre la potencia total de ruido dentro del sistema y la potencia de la señal deseada (se refiere a la calidad de funcionamiento obtenida en ausencia de interferencia entre sistemas)
- I/C : relación (numérica) entre la potencia de la señal interferente combinada y la potencia de la señal deseada.

La calidad de funcionamiento del sistema en ausencia de interferencia entre sistemas (es decir, los valores de N/C en la ecuación (1)) está limitada por diversas degradaciones del funcionamiento propias del sistema (por ejemplo, ruido térmico del receptor, ruido de intermodulación, etc.). En los sistemas que emplean reutilización de frecuencias (por ejemplo, antenas de satélite de haces estrechos) se producen degradaciones adicionales dentro del sistema. Por ello, al igual que en el caso del servicio fijo por satélite (SFS), se pueden aplicar diferentes criterios de interferencia a los sistemas que emplean reutilización de frecuencias. Como quiera que sea, la degradación de la calidad de funcionamiento atribuida al nivel admisible de interferencia no debe exceder de una cierta fracción de la degradación propia del sistema, a fin de que los responsables del diseño y la explotación del sistema puedan controlar bien la calidad de funcionamiento de éste.

En los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de meteorología por satélite existe un precedente en cuanto a fijar el margen a largo plazo de interferencia en un 25% o más del nivel de potencia total del ruido más la interferencia. En el SFS, cuyos recursos de órbita y espectro son objeto de una gran demanda y utilización, se permite que el 35% del ruido total a largo plazo en un canal telefónico MDF/MF resulte de interferencias entre sistemas, o el 30% en los sistemas con reutilización de frecuencias (Recomendaciones UIT-R S.353 y UIT-R S.466). Estos porcentajes se componen de un 10%, como máximo, de interferencia procedente de redes terrenales fijas y el resto, del 20% al 25%, de interferencia procedente de redes del servicio fijo por satélite. Sin embargo, al considerar el uso de tales relaciones entre la potencia de interferencia y el ruido total más la potencia de interferencia para los servicios móviles por satélite, se deberá

evaluar cuidadosamente la repercusión sobre la calidad de funcionamiento y la capacidad del sistema (para un nivel de calidad de funcionamiento determinado).

La calidad de funcionamiento del enlace puede degradarse a niveles asociados con un umbral de calidad de funcionamiento debido al desvanecimiento de las señales deseadas o al aumento de los niveles de la señal interferente. Los márgenes de calidad de funcionamiento se deben determinar de modo tal que la interferencia no degrade el enlace más de lo que admiten los objetivos de calidad de funcionamiento.

4 Formulación del balance de interferencia

4.1 Balance entre enlaces de conexión y enlaces de servicio

Las atribuciones del SFS suelen utilizarse para enlaces de conexión; de este modo, cada mitad de un canal (ascendente o descendente) está sujeta a diferentes condiciones en materia de interferencia y puede tener distintos criterios de interferencia.

Las consideraciones vinculadas con la interferencia a corto plazo también influyen en las C/N y C/I exigidas en los circuitos móviles por satélite. Los efectos de sombra y de trayectos múltiples de corta duración pueden controlar los balances de C/N y C/I en el enlace de servicio de la banda L, especialmente en las redes del SMTS. Además, si se utilizan enlaces de conexión superiores a 10 GHz, el desvanecimiento a corto plazo causado por la atenuación debida a la lluvia puede controlar los balances de ruido y de interferencia del enlace de conexión.

Un elemento fundamental de diseño que debe tenerse en cuenta al desarrollar los sistemas móviles por satélite es que la C/N neta (incluidas las contribuciones de la C/I) debe estar establecida en gran medida por los enlaces de servicio; es decir, que los enlaces de conexión deberían producir sólo una pequeña degradación (soluciones de transacción necesarias en el diseño del sistema, por ejemplo para tomar en cuenta la muy baja p.i.r.e. del enlace de conexión en el sentido espacio a Tierra en los primeros sistemas, entrañaron concesiones en este elemento de diseños).

4.2 Criterios aplicables a los enlaces de servicio

Los niveles de potencia de la señal deseada en 1,5/1,6 GHz experimentan, por lo general, variaciones amplias y rápidas. Esto mismo se aplica a las señales interferentes en esas frecuencias, que generalmente varían en forma independiente de las señales deseadas. En consecuencia, dado el requisito de calidad de funcionamiento del enlace de servicio (es decir, el calculado mediante la ecuación (1), el objetivo de calidad de funcionamiento y la distribución entre los enlaces de conexión y de servicio), se podría determinar el nivel de interferencia combinada admisible por medio de un análisis estadístico de las señales deseadas e interferentes. Además, dada una cantidad supuesta de emisiones interferentes se puede efectuar un análisis estadístico para determinar los niveles de interferencia admisibles de una sola fuente. En el Anexo 1 se describe el método para determinar dichos balances de interferencia, y en el Anexo 3 se examinan los umbrales de coordinación para esos enlaces.

4.3 Criterios aplicables a los enlaces de conexión

En el enlace descendente de conexión, el nivel de potencia de la señal deseada experimenta, por lo general, las mismas variaciones que la señal del enlace ascendente de servicio cuando el transpondedor funciona en la región casi lineal. Por tanto, para el enlace descendente de conexión podría aplicarse un método similar al utilizado para los enlaces ascendentes de servicio.

Para los enlaces ascendentes de conexión, donde la señal deseada está comprendida dentro de un margen aproximado de 1 dB de su valor medio durante grandes porcentajes del tiempo (por ejemplo, >95%), se pueden sentar hipótesis simplificadoras para calcular los criterios de interferencia. Concretamente, los niveles de potencia de interferencia admisible total «a largo plazo» pueden basarse en análisis del comportamiento previsto del valor medio de la señal deseada. Los criterios de interferencia «a corto plazo» pueden establecerse por medio de un análisis del comportamiento «en ausencia de desvanecimiento», dada la pequeña probabilidad que existe de que la interferencia alcance los niveles experimentados sólo durante pequeños porcentajes de tiempo a la vez que la señal deseada sufre desvanecimientos de un nivel que sólo se verifica también durante pequeños porcentajes de tiempo. En el Anexo 2 se expone un método para determinar los criterios de interferencia del enlace ascendente de conexión basado en estas hipótesis.

Anexo 1

Determinación de los criterios de interferencia aplicables a los enlaces de servicio en 1,5/1,6 GHz y a los enlaces descendentes de conexión

1 Introducción

Los sistemas móviles por satélite que funcionan en la porción del espectro de 1,5/1,6 GHz tendrán que responder a una amplia gama de condiciones de servicio, que abarcan técnicas de modulación tanto analógicas como digitales, una diversidad de anchuras de banda y de velocidades de datos, y una variedad de niveles de potencia de transmisión. Existen variaciones sustanciales en cuanto a la p.i.r.e., la anchura de banda y los márgenes de calidad de funcionamiento entre los diversos canales utilizados en los enlaces de servicio que ofrecen los sistemas móviles por satélite. Cada tipo de enlace debe ser evaluado separadamente, pero seguramente se comprobará que varios tipos de enlaces tienen criterios de interferencia similares.

2 Servicios interferentes que han de tomarse en consideración

La interferencia que sufrirán los enlaces de servicio de un sistema móvil por satélite en las bandas 1,5/1,6 GHz será causada por emisiones de estaciones espaciales y estaciones terrenas móviles de otros sistemas móviles por satélite. Asimismo, los enlaces de servicio que funcionen en ciertas porciones de las bandas de 1,5/1,6 GHz recibirán interferencia de emisiones de sistemas del servicio fijo que funcionen, en ciertas zonas geográficas. Podrán producir interferencia a los enlaces descendentes de conexión otros servicios que funcionen en esas bandas.

3 Factores de propagación

Las señales de enlace de servicio de los sistemas móviles por satélite están afectadas principalmente por la reflexión y la dispersión producidas por el terreno circundante (por ejemplo, el suelo, los océanos, o los edificios), por el efecto de sombra de las obstrucciones (por ejemplo, edificios y árboles) en el trayecto Tierra-espacio, y por la difracción producida por obstáculos cercanos. Estos enlaces también están afectados, pero en mucho menor magnitud en 1,5/1,6 GHz, por la ionosfera, la troposfera y las precipitaciones. En las Recomendaciones UIT-R P.680 y UIT-R P.681 se

describen los efectos de propagación observados en medios marítimos y terrestres en frecuencias por encima de 100 MHz, respectivamente. Se están estudiando, asimismo, los efectos de propagación en medios aeronáuticos en la Recomendación UIT-R P.682. En los tres tipos de medios circundantes de explotación, los efectos de la propagación en los enlaces del SMTS son los más severos.

Las estadísticas de pérdida de propagación dependen del entorno local. Los estudios teóricos y las mediciones efectuadas en los enlaces indican que las señales de propagación por trayectos múltiples tienen una distribución de Rayleigh. La potencia media de las señales de propagación por trayectos múltiples, con relación a la potencia de la señal con visibilidad directa no atenuada, depende del diagrama de radiación de la antena, del ángulo de elevación de ésta y de las características del medio físico que dispersa las señales de trayectos múltiples. Si la antena de recepción no discrimina completamente la señal de trayectos múltiples y la señal con visibilidad directa no está muy atenuada, la distribución de la envolvente de la señal recibida puede modelarse de acuerdo con la función de distribución de Rice-Nakagami. Las mediciones también han indicado que una distribución log-normal representa una aproximación adecuada de la distribución de la potencia de la señal con visibilidad directa, en condiciones de sombra (por ejemplo, por árboles u otros obstáculos). De esta manera, para todos los entornos, la variación estadística de la envolvente de la señal recibida se puede modelar como un proceso compuesto. Las fluctuaciones de la potencia instantánea de la señal recibida se pueden modelar como un proceso de Rice-Nakagami en el que se supone que la amplitud de la señal «constante» obedece a un proceso log-normal. En la Recomendación UIT-R P.1057 se efectúa un análisis bastante amplio de los detalles matemáticos de este proceso compuesto.

Sin embargo, se debe observar que esos modelos matemáticos podrían no ser suficientemente exactos, especialmente en la región de los niveles de señal sumamente altos o bajos, cuando la probabilidad de aparición de tales niveles es muy escasa.

Los niveles de las señales interferentes están afectados por factores de propagación similares. No obstante, se puede utilizar el nivel de interferencia con visibilidad directa como valor representativo durante la mayor parte del tiempo en los casos en que se tiene en cuenta la interferencia proveniente de otras redes del servicio móvil por satélite, siempre que el ángulo de elevación de los trayectos de las señales deseada e interferente no sean demasiado bajos (por ejemplo, $<5^\circ$).

Al evaluar los criterios de interferencia a corto plazo, se deberán tener en cuenta los incrementos a corto plazo de los niveles de interferencia debidos a los mecanismos de trayectos múltiples, especialmente cuando la estación terrena móvil está sobre el mar. Estos efectos, pueden producir aumentos de hasta 5 dB por encima del nivel de visibilidad directa.

Los análisis deben tomar en consideración los efectos de las diferencias entre los ángulos de elevación de las señales deseada e interferente o la discriminación de la antena de la estación terrena y las diferencias consiguientes en las funciones de distribución de las señales deseada e interferente. Los ángulos de elevación deberán tenerse en cuenta cuando se apliquen los criterios de compartición, pero los efectos de discriminación de la antena de la estación terrena pueden formar parte de los criterios de interferencia. Además, se debe incluir el efecto del *ruido* dentro del sistema.

Los niveles de interferencia total pueden determinarse por convolución de las funciones de densidad de probabilidad de las fuentes de interferencia individuales supuestas. Estas relaciones entre la calidad de funcionamiento requerida y los niveles de interferencia combinada y de una sola fuente se pueden utilizar para determinar los niveles admisibles de interferencia a los enlaces de servicio.

Anexo 2

Determinación de los criterios de interferencia admisible de una sola fuente aplicables a los enlaces ascendentes de conexión

1 Distribución de los criterios de interferencia entre los servicios espaciales y terrenales

Las atribuciones de frecuencia para trayectos Tierra-espacio utilizadas en servicios móviles por satélite requieren generalmente una compartición entre sistemas de este tipo con sistemas y servicios terrenales y, en algunos casos, con sistemas de otros servicios espaciales. Se puede efectuar una división inicial de los criterios de interferencia a corto plazo (intensificada) y a largo plazo (cercana al valor mediano) para establecer balances de interferencia separados para el servicio espacial y para el servicio terrenal. Esto facilita la determinación de criterios de compartición y umbrales de coordinación apropiados para sistemas espaciales y terrenales, cuyo número suele variar y que pueden presentar posibilidades de interferencia de diferentes magnitudes. Para esta subdivisión se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_s(x) = I(x) \cdot \frac{A_s}{100} \quad (2)$$

$$I_t(x) = I(x) - I_s(x) \quad (3)$$

donde:

I_s : balance de interferencia (W) para el servicio espacial

I_t : balance de interferencia (W) para el servicio terrenal

A_s : porcentaje del balance de la potencia de interferencia total atribuido al servicio espacial

$I(x)$: nivel de la potencia de interferencia admisible total (W) que no puede rebasarse durante más del $x\%$ del tiempo donde x se vincula con el objetivo de calidad de funcionamiento a largo plazo.

$$I_s(p_s) = I(p) - I_t(x) \quad (4a)$$

$$I_s(p_t) = I(p) - I_s(x) \quad (4b)$$

$$p_s = p(a_s / 100) \quad (5a)$$

$$p_t = p - p_s \quad (5b)$$

donde:

p : porcentaje de tiempo asociado con el criterio de interferencia a corto plazo

p_s : porcentaje de tiempo durante el cual los servicios espaciales pueden rebasar el umbral de interferencia

p_t : porcentaje de tiempo durante el cual los servicios terrenales pueden rebasar el umbral de interferencia

a_s : porción (%) del porcentaje de tiempo p atribuido a los servicios espaciales

$I(p)$: nivel de potencia de interferencia total (W) que no puede excederse durante más del $p\%$ del tiempo (es decir, criterios de interferencia a corto plazo).

En las ecuaciones (2) y (3), los criterios de interferencia a largo plazo se subdividen en potencia entre las categorías de interferencia de los servicios espaciales y terrenales. Esto se justifica ya que se puede prever que esos niveles de interferencia espaciales y terrenales a largo plazo se presenten simultáneamente.

En las ecuaciones (4) y (5), los criterios de interferencia a corto plazo se subdividen en porcentaje de tiempo entre las categorías de interferencia de los servicios espaciales y terrenales. Es poco probable que aparezcan simultáneamente niveles de interferencia intensificados de corto plazo para ambos servicios espaciales y terrenales, debido a los mecanismos no correlacionados que causan estas intensificaciones. Sin embargo, se debe tomar en consideración la interferencia que proviene de los servicios espaciales con su nivel a largo plazo cuando se establece el balance de interferencia a corto plazo de los servicios terrenales y viceversa. De esta manera, en las ecuaciones (4a) y (5a) se supone que la interferencia a largo plazo asociada con el servicio espacial se suma a la interferencia a corto plazo asociada con el servicio terrenal.

Los valores de la subdivisión en potencia de interferencia (I_s e I_t) y de la subdivisión en tiempo (p_s y p_t) de las ecuaciones (2) a (5) se deben seleccionar de modo tal que correspondan a los niveles de interferencia que puedan preverse en un entorno típico de fuentes de interferencia terrenales y espaciales, a fin de reducir al mínimo las limitaciones que imponen los criterios de compartición.

2 Consideraciones para la determinación de los criterios de compartición

2.1 Criterios de interferencia de una sola fuente

Se pueden efectuar subdivisiones de los márgenes de interferencia total y de tiempo de las fuentes de interferencia espaciales y terrenales con el objeto de establecer niveles admisibles apropiados para la interferencia proveniente de fuentes individuales (es decir, interferencia «de una sola fuente»). Para este fin se pueden emplear las siguientes ecuaciones (6) y (7):

$$I_{x'}(x) = \frac{I_x(x)}{n} \quad (6)$$

$$I_{x'}(p_{x'}) = \frac{I_x(p_x)}{y_n} - \left(I_{x'}(20) \cdot \frac{1-y}{y} \right) \quad (7a)$$

$$p_{x'} = \frac{p_x}{y_n} \quad (7b)$$

donde los parámetros que llevan prima (') indican valores de una sola fuente y:

$I_x(x)$: nivel de potencia de interferencia admisible total (W) distribuido entre servicios espaciales o terrenales que no puede excederse durante más del $x\%$ del tiempo

$I_x(p_x)$: nivel de potencia de interferencia admisible total (W) distribuido entre servicios espaciales o terrenales que no puede excederse durante más de $p_x\%$ del tiempo

n : número efectivo de fuentes de interferencia espaciales o terrenales

y : fracción de las fuentes de interferencia que tienen un nivel intensificado, $0 < y < 1$.

Las ecuaciones (6) y (7) son de naturaleza similar a las ecuaciones (2) a (5). Los márgenes de interferencia a largo plazo se subdividen en potencia y los márgenes de la interferencia a corto plazo se subdividen en porcentaje de tiempo. En la ecuación (7), se supone que sólo algunas de las fuentes de interferencia serán intensificadas a sus valores a corto plazo y, por lo tanto, que no están correlacionadas. Mientras esas fuentes de interferencia presentan un nivel intensificado, se supone que todas las demás fuentes tienen sus niveles a largo plazo. Se supone que la suma de esos niveles a largo plazo será igual a $(n - yn)$ veces el margen de interferencia de una sola fuente a largo plazo.

Anexo 3

Umbrales de coordinación y criterios de compartición para enlaces en 1,5/1,6 GHz*

1 Coordinación entre sistemas por satélite

En los procedimientos de coordinación establecidos en el Artículo 9 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) se examina la interferencia potencial entre sistemas por satélite para determinar qué limitaciones, de diseño o de explotación son necesarias llegado el caso, para asegurar que la interferencia permanezca por debajo de unos niveles aceptables. Los niveles de interferencia admisibles de una sola fuente definen los niveles de interferencia mínimos aceptables que han de utilizarse en la coordinación. En el Apéndice 8 del RR se establece el método de cálculo para determinar cuándo se debe aplicar esta coordinación. La coordinación ha de efectuarse cuando se prevea un cierto aumento de la temperatura de ruido del sistema en las condiciones del caso más desfavorable (es decir, un aumento del 6%). En la práctica, la escasa discriminación de las antenas de las estaciones terrenas móviles en las bandas 1,5/1,6 GHz hacia necesaria casi siempre una coordinación de acuerdo con este procedimiento, siempre que una estación terrena móvil de un sistema tenga visibilidad directa del satélite del otro sistema. En consecuencia, esta condición de visibilidad resulta ser un criterio práctico para determinar cuándo procede efectuar la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que funcionan en 1,5/1,6 GHz, excepto cuando las zonas de cobertura de los satélites estén completamente separadas.

2 Interferencia causada por estaciones terrenales a receptores de satélite

Los criterios de compartición en frecuencias cercanas a 1,6 GHz entre estaciones de transmisión de servicios terrenales y estaciones espaciales de recepción, se pueden determinar por medio del nivel de interferencia combinada admisible a largo plazo, distribuido con arreglo a esta interacción (véase el Anexo 1 al Informe UIT-R M.1173).

No se recurre a la coordinación para regular esta interacción de interferencia, sino que se aplican criterios de compartición consistentes en límites de p.i.r.e., de potencia de entrada de la antena y de orientación de la antena de las estaciones terrenales. Cabe prever que la interferencia combinada causada por estaciones terrenales tenga poca variación en el tiempo, lo que asegura que en la compartición predominen los criterios de interferencia a largo plazo relativamente rigurosos cuando se aplique la metodología del Anexo 1. Se han establecido estos criterios de compartición para otras bandas sentando hipótesis en cuanto a la distribución geográfica y las características de las estaciones terrenales.

* Véase igualmente el Apéndice 7 del RR.

3 Distancias de coordinación

Es posible establecer criterios para la compartición entre estaciones terrenas móviles y estaciones terrenales aplicando el concepto de zona de protección. La gran variabilidad en el tiempo de las pérdidas de propagación en los trayectos terrenales requiere, por lo general, que se apliquen tanto criterios de interferencia a corto plazo como criterios de interferencia a largo plazo. Las zonas de coordinación de las estaciones terrenas móviles terrestres y de barco pueden calcularse por el método del Apéndice 7 del RR. Para las estaciones terrenas de aeronave, las zonas de coordinación pueden determinarse utilizando distancias de coordinación basadas en los trayectos de propagación con visibilidad directa entre la aeronave y la estación terrenal. Suponiendo que una estación terrenal de aeronave puede funcionar a altitudes tan elevadas como 12 km y que la refracción debida a la atmósfera produce un radio ficticio de la Tierra equivalente de $4/3$, las distancias de visibilidad directa a otras estaciones en el suelo o a bordo de otras aeronaves serán de 450 km y 900 km respectivamente. Teniendo en cuenta unas refractividades atmosféricas ligeramente superiores, debe considerarse que las distancias de coordinación para aeronaves son de 500 km y 1 000 km para la compartición con estaciones terrenales en Tierra y a bordo de aeronaves, respectivamente. Es necesario efectuar más estudios en relación con las distancias de coordinación.
