

RECOMENDACIÓN UIT-R F.698-2*

BANDAS DE FRECUENCIAS PREFERIDAS PARA LOS SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE

(1990-1992-1994)

Cometido

En esta Recomendación se indican los factores que han de considerarse al seleccionar bandas de frecuencia para los sistemas de radioenlaces transhorizonte del servicio fijo, desde el punto de vista de las condiciones de compartición de frecuencias con otros servicios, así como el ruido total, incluidos los ruidos térmico y de intermodulación debidos a la propagación.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1979) (CAMR-79), en su Recomendación N.º 100, solicitó al ex CCIR que elabore una Recomendación acerca de las bandas de frecuencias específicas que resultan preferibles para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte teniendo en cuenta las atribuciones a otros servicios, en particular las atribuciones a los servicios espaciales;
- b) que la CAMR-79 y la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) atribuyeron bandas de frecuencias adicionales a los servicios espaciales como consecuencia de la expansión de estos servicios;
- c) que en la Recomendación N.º 100 de la CMR-95 se toma nota de que la proliferación de los sistemas transhorizonte en todas las bandas de frecuencias, y en particular en las compartidas con los sistemas espaciales, no hará sino agravar una situación ya difícil;
- d) que para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte hay gamas de frecuencias óptimas desde el punto de vista del ruido térmico y del ruido de intermodulación debido a las condiciones de propagación, según la longitud de los enlaces;
- e) que los límites de potencia especificados en el Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) son aplicables a los transmisores de los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte que comparten bandas de frecuencias con los servicios de radiocomunicación espacial (Tierra-espacio), salvo para algunas bandas de frecuencias,

recomienda

1. que, al seleccionar bandas de frecuencias para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, se tengan en cuenta los siguientes factores desde el punto de vista del ruido total, incluidos el ruido térmico y el ruido de intermodulación debido a la propagación:

1.1 en los enlaces de unos 400 a 700 km de longitud, las frecuencias relativamente bajas, por debajo de aproximadamente 1 GHz, con grandes antenas, resultan ideales para obtener una calidad de funcionamiento adecuada, incluido un bajo nivel de ruido de intermodulación. La capacidad de transmisión normalmente será pequeña. La explotación por encima de 1 GHz puede dar resultados mediocres, excepto en el caso de terminales favorablemente ubicados y en presencia de condiciones de propagación muy favorables;

1.2 en los enlaces de unos 200 a 400 km de longitud, la capacidad de transmisión puede ser algo mayor. El ruido de intermodulación debido a la propagación por trayectos múltiples puede ser un factor importante; las frecuencias situadas alrededor de 2 GHz pueden ser preferibles a las frecuencias inferiores, al reducir el ruido de intermodulación;

1.3 en los enlaces más cortos (de unos 100 a 200 km de longitud), es posible la explotación en frecuencias de hasta 5 GHz aproximadamente, con un bajo nivel de ruido de intermodulación debido a propagación por trayectos múltiples, aunque se utilicen antenas relativamente pequeñas. Las frecuencias comprendidas entre 2 y 3 GHz pueden ser óptimas para capacidades elevadas de transmisión en tales enlaces;

* La Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2007 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

2. que, al seleccionar bandas de frecuencias para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, se dé prioridad a las bandas no compartidas con servicios de radiocomunicación espacial;
3. que, en general, los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte no utilicen bandas de frecuencias compartidas con servicios de radiocomunicación espacial (Tierra-espacio) (véase la Nota 1);
4. que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte utilicen bandas de frecuencias compartidas con los servicios de radiocomunicación espacial (espacio-Tierra) siempre y cuando se tomen medidas, de acuerdo con la Recomendación UIT-R SM.1448, para evitar que dichos sistemas causen interferencias a los receptores de estación terrena de los servicios de radiocomunicación espacial (véanse las Notas 2 y 3);
5. que, al seleccionar bandas de frecuencias para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, se tomen medidas para evitar que éstos causen interferencias a los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa, de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.302 (véase la Nota 4);
6. que al aplicar esta Recomendación, se tenga en cuenta la información adicional recogida en el Anexo 1;
7. las Notas siguientes forman parte de esta Recomendación:

Nota 1 – Por lo general, los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte no pueden funcionar con arreglo a los límites de potencia aplicables a todos los sistemas del servicio fijo que comparten bandas de frecuencias con servicios de radiocomunicación espacial (Tierra-espacio), como se indica en el Artículo 21 del RR (véase también el § 3.1 del Anexo 1).

Nota 2 – Cuando los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte utilicen bandas de frecuencias compartidas con servicios de radiocomunicación espacial (espacio-Tierra), debe confirmarse que las estaciones espaciales de los servicios de radiocomunicación que cumplen la Recomendación UIT-R SF.358 (o el Artículo 21 del RR, para las bandas 1 525-2 500 MHz) no causen una interferencia inaceptable a los sistemas transhorizonte. Debe tenerse en cuenta que las estaciones espaciales pueden encontrarse en la órbita de los satélites geoestacionarios o en órbitas no geoestacionarias.

Nota 3 – Se necesitan más estudios acerca de la compartición de frecuencias entre sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte y estaciones terrenas receptoras del servicio de radiodifusión por satélite.

Nota 4 – Debe también confirmarse que las interferencias causadas a los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte por los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa se encuentran dentro de límites aceptables.

ANEXO 1

Factores que afectan a la elección de bandas de frecuencias para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte

1. Introducción

En este Anexo se pretende determinar los diversos factores que afectan la elección de bandas de frecuencias para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte. La gama de frecuencias óptima de un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte se determina ante todo por consideraciones de propagación, teniendo en cuenta el diámetro de la antena y la potencia de transmisión. Luego se discuten los problemas de interferencia relativos a la compartición de frecuencias con otros sistemas, incluidos los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa y los sistemas de radiocomunicación espacial.

2. Gama de frecuencias óptima de un sistema transhorizonte

2.1 En función del nivel recibido (considerando solamente el ruido térmico)

En los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte existentes se emplean potencias de transmisión en general del mismo orden de magnitud, cualquiera que sea la gama de frecuencias. La sensibilidad de los receptores modernos es independiente en gran medida de la banda de frecuencias utilizada.

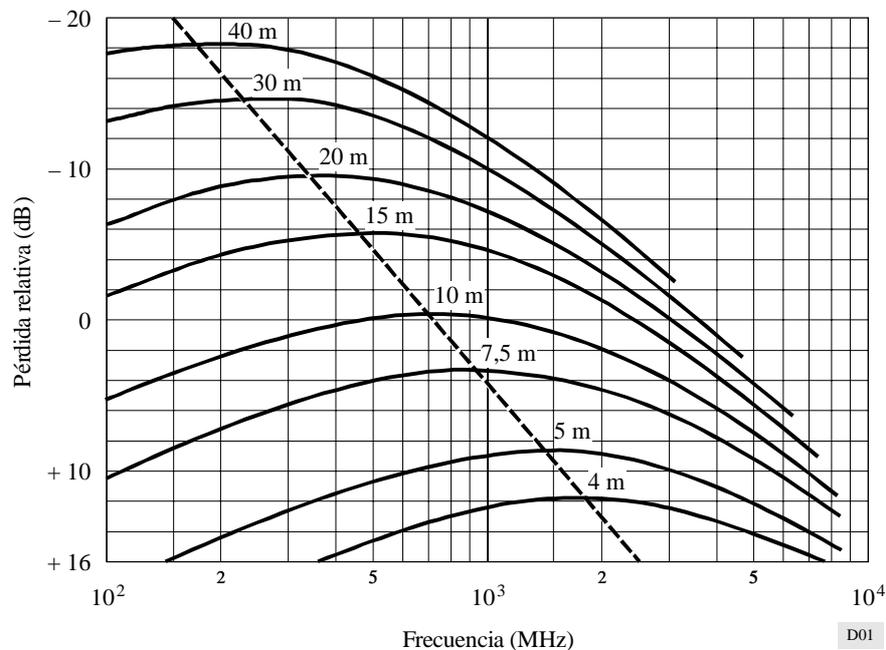
Las variaciones a largo plazo del nivel de la potencia recibida en función de la frecuencia portadora dependen esencialmente de los tres fenómenos siguientes:

- la pérdida entre antenas isotrópicas; se admite generalmente que esta pérdida es proporcional al cubo de la frecuencia;
- la ganancia en el espacio libre de las antenas utilizadas; para una antena de diámetro dado, dicha ganancia es proporcional al cuadrado de la frecuencia;
- la disminución de la ganancia de la antena; con una antena de diámetro determinado, esta disminución depende de la frecuencia y puede calcularse según la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R F.1106.

La Fig. 1 representa los efectos de las variaciones de estos tres parámetros en función de la frecuencia, para diámetros de antena comprendidos entre 4 y 40 m.

La Fig. 1 indica la pérdida relativa entre los terminales de dos antenas de igual diámetro situadas en los dos extremos de un enlace transhorizonte; se ha tomado como pérdida básica (0 dB) la que existe en iguales condiciones entre dos antenas de 10 m de diámetro utilizadas en 1 000 MHz. En lo que respecta a la longitud del enlace, la validez de la Fig. 1 es idéntica a la que proporciona la reducción de la ganancia de antena, es decir, que se supone que el enlace considerado tiene una longitud comprendida entre 150 y 500 km, aproximadamente.

FIGURA 1
Pérdida relativa entre antenas de un diámetro dado



Puede verse que, para un diámetro determinado de antena, la pérdida relativa pasa por un mínimo en una frecuencia determinada y aumenta a un lado y a otro; en las frecuencias más bajas porque disminuyen las dimensiones relativas de la antena medidas en longitudes de onda y, en consecuencia, también su ganancia en el espacio libre, y, en las frecuencias elevadas, porque la disminución de la ganancia se hace cada vez mayor cuando aumenta la ganancia en el espacio libre. La frecuencia óptima de funcionamiento va de 200 MHz, para una antena de 40 m de diámetro, a 2 GHz para una antena de 4 m. Sin embargo, el mínimo es muy plano y es posible apartarse en frecuencia a ambos lados en una relación 2/1 sin que aumente de modo notable la pérdida relativa.

2.2 En función del ruido total (ruidos térmico y de intermodulación incluidos) para los sistemas analógicos

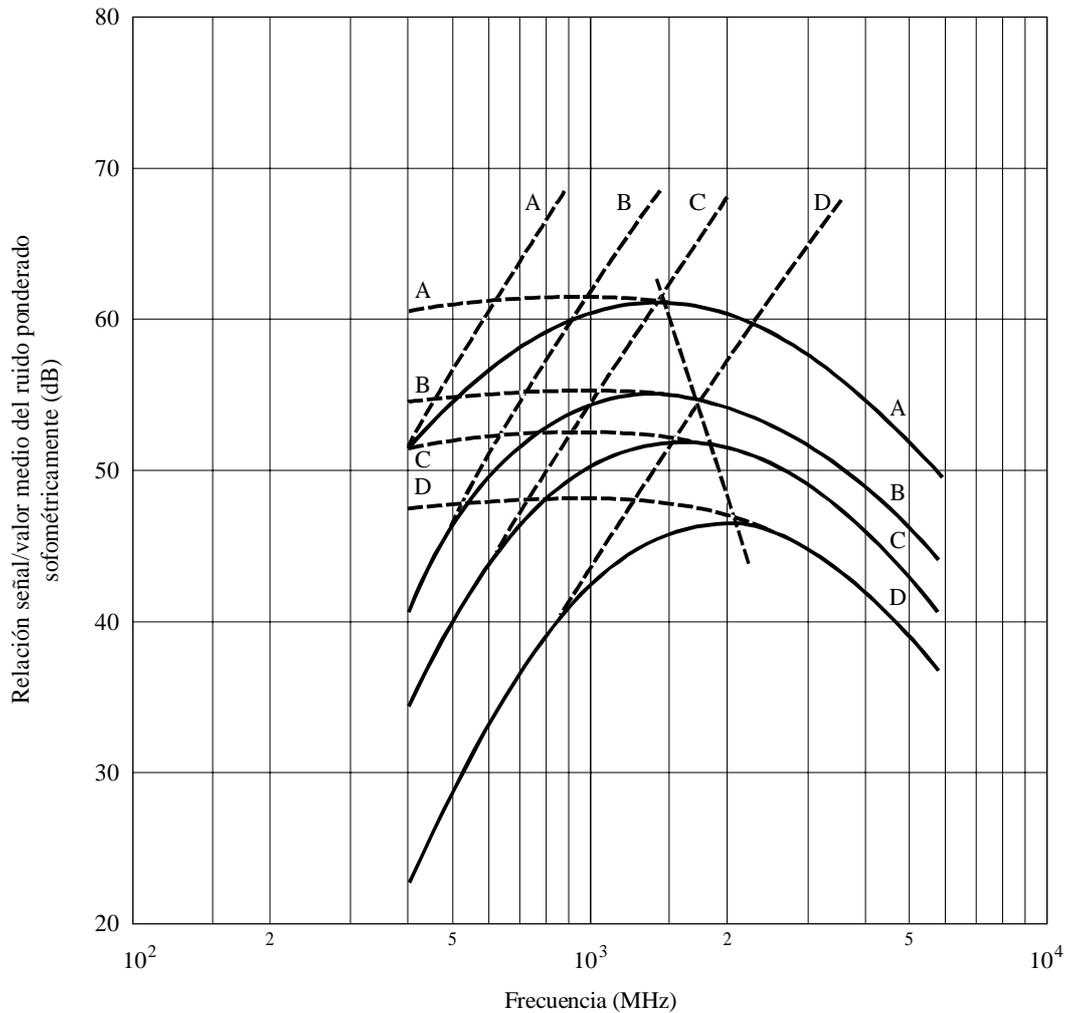
La reducción del ruido de intermodulación debido a la propagación puede obligar a utilizar ganancias de antena más elevadas que las estrictamente necesarias para la reducción del ruido térmico. Con una ganancia de antena determinada, las dimensiones de las antenas son evidentemente más pequeñas en las frecuencias elevadas. La elección de la frecuencia no depende esencialmente del ruido de intermodulación si la ganancia de la antena es fija, pero no sucede lo mismo cuando el diámetro de la antena es fijo.

En lo que respecta al ruido de intermodulación, se ha demostrado teóricamente que dicho ruido aumenta en proporción a la cuarta potencia del retardo debido a la propagación por trayectos múltiples en el trayecto radioeléctrico.

El retardo debido a la propagación por trayectos múltiples en el trayecto es proporcional a la abertura angular de haz de las antenas empleadas y dicha abertura es inversamente proporcional a la frecuencia radioeléctrica, por consiguiente, el ruido de intermodulación disminuye en proporción inversa a la cuarta potencia de la frecuencia radioeléctrica cuando se emplea un diámetro de antena constante. En la Fig. 2 se muestra una estimación del ruido de intermodulación en función de la banda de frecuencias radioeléctricas y para diversas capacidades de canales, supuesto un trayecto de una longitud de 200 km y un diámetro de antena de 10 m.

FIGURA 2

Relación «señal/valor medio del ruido (ruido térmico y ruido de intermodulación en el trayecto) ponderado sofométricamente»



Curvas A: 24 canales
 B: 60 canales
 C: 120 canales
 D: 300 canales

Longitud del enlace: 200 km
 Diámetro de antena: 10 m
 Potencia de salida: 1 kW

D02

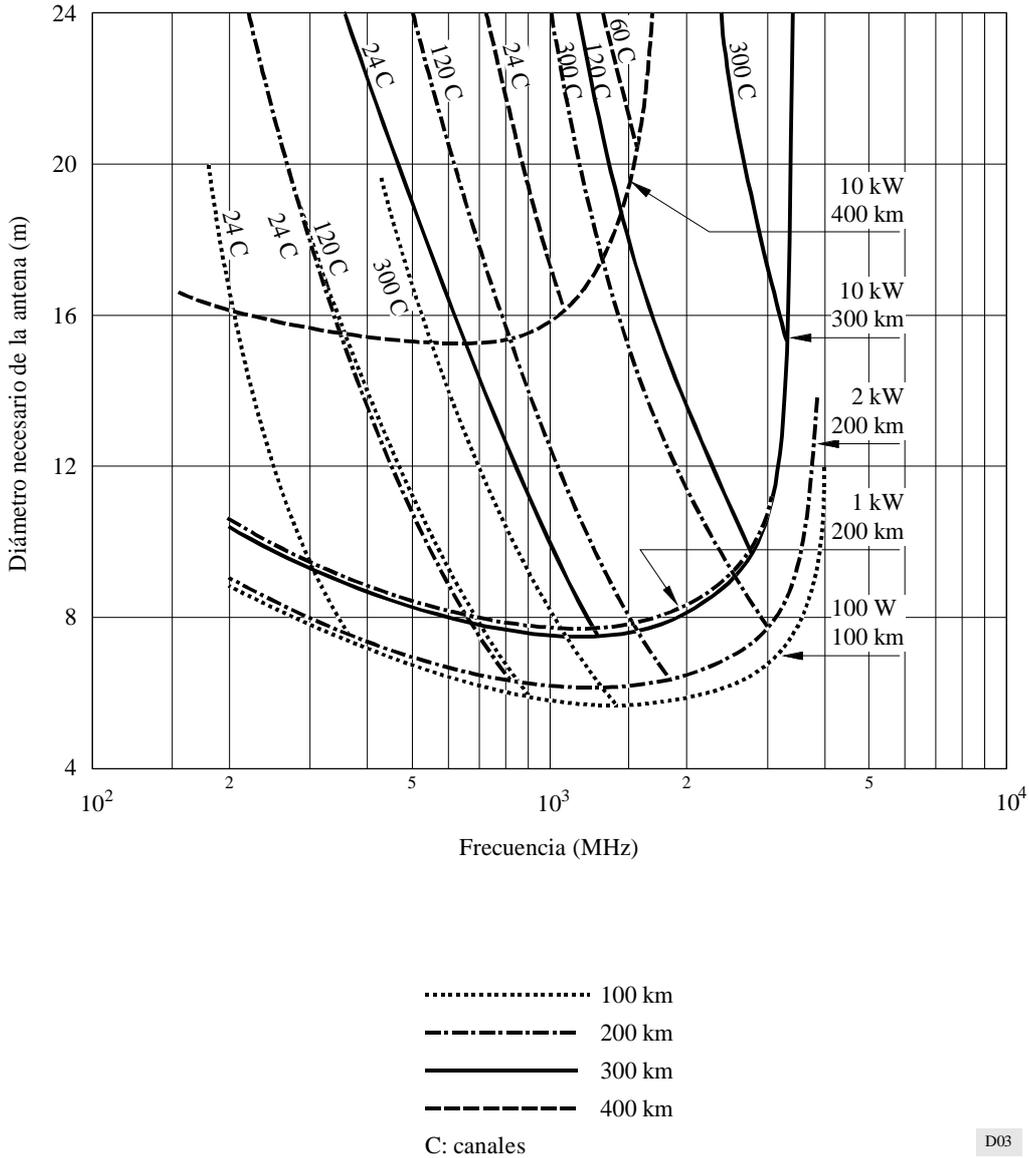
Como se puede ver en la Fig. 2, no aparecen diferencias sensibles del ruido total en las bandas de 900 MHz, 2 GHz y 2,6 GHz para la capacidad de transmisión de 24 canales. Tales bandas presentan más ventajas que las bandas superiores a 3 GHz. Se observa que, cuando la capacidad de transmisión aumenta hasta 300 canales, las bandas de frecuencias de unos 2 GHz son más apropiadas que otras.

La Fig. 3 es un ejemplo de cómo el ruido térmico o el ruido de intermodulación del trayecto puede determinar la dimensión mínima de la antena. Hay dos grupos de curvas:

- el primer grupo de curvas (decrecientes de izquierda a derecha) muestra la dimensión de la antena en función de la frecuencia para una relación señal/ruido de intermodulación en el trayecto de 60 dB; cada curva corresponde a valores dados de longitud del trayecto y capacidad de canales;
- el segundo grupo de curvas (que descienden hasta un valor mínimo) muestra la dimensión de la antena en función de la frecuencia para una relación señal/ruido térmico de 50 dB (suponiendo un nivel recibido de 20 dB por encima del umbral y una relación señal/ruido térmico de 30 dB en el umbral). Cada curva corresponde a valores dados de potencia de transmisión y distancia.

FIGURA 3

Diámetro mínimo necesario de la antena para las bandas de frecuencias



Los dos grupos de curvas deben utilizarse conjuntamente para determinar los parámetros que limitan la dimensión de la antena (o la frecuencia). Por ejemplo, con un transmisor de potencia de 1 kW, una frecuencia de 1 GHz y una distancia de 200 km, el diámetro mínimo de la antena debería ser de alrededor de 8 m para 24 canales telefónicos (debido al ruido térmico), 13 m para 120 canales telefónicos y 24 m para 300 canales telefónicos (los dos últimos debido al ruido de intermodulación del trayecto).

Los niveles de potencia indicados en la Fig. 3 cubren la gama de transmisores de potencia actualmente disponibles. Por razones prácticas, la potencia máxima de transmisión considerada es de 10 kW, pero conviene emplear potencias más bajas para concebir una mayor economía y mejores posibilidades prácticas de mantenimiento del sistema.

Es preferible utilizar antenas de gran abertura para transmisores de potencias elevadas; sin embargo, el coste de las antenas y de la torre de soporte aumenta entonces considerablemente, por lo que, para grandes capacidades, las bandas de frecuencias más bajas son menos económicas.

2.3 Resumen

Si se consideran todos los factores que entran en juego (incluidos los aspectos mecánicos), el máximo diámetro físico útil de las antenas es de aproximadamente $40/f$ m (f expresada en GHz) para frecuencias superiores a 1 GHz. Esto corresponde a una ganancia de aproximadamente 50 dB para una onda plana y a una pérdida por acoplamiento entre la antena y el medio de unos 15 dB para dos antenas idénticas. El aumento de pérdida por acoplamiento entre la antena y el medio, y el aumento de la potencia de ruido térmico pueden compensarse parcialmente incrementando la desviación; por ejemplo, las contribuciones del ruido térmico y de intermodulación pueden ser aproximadamente iguales.

3. Compartición de frecuencias con sistemas de radiocomunicación espacial

3.1 Bandas de frecuencias compartidas con servicios espaciales (Tierra-espacio)

La Recomendación UIT-R SF.406 especifica el valor máximo de p.i.r.e. de los transmisores de sistemas de relevadores radioeléctricos que comparten bandas de frecuencias con el servicio fijo por satélite. Por otro lado, el Artículo 21 del RR fija los límites de potencia de una estación del servicio fijo o móvil que comparte bandas de frecuencias con algunos servicios de radiocomunicación espacial.

Se señala que la Recomendación UIT-R SF.406 y el Artículo 21 del RR son aplicables no solamente a los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa sino también a los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte. Las disposiciones más importantes del RR son la número 21.3, que estipula que la p.i.r.e. máxima de una estación en los servicios fijo o móvil no debe superar el valor de +55 dBW y el número 21.5 que indica que la potencia suministrada por el transmisor a la antena de una estación de los servicios fijo o móvil, en las bandas de frecuencias comprendidas entre 1 GHz y 10 GHz, no deberá ser superior a +13 dBW.

La mayoría de los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte superan estos dos límites y, en consecuencia, generalmente no pueden funcionar en bandas de frecuencias compartidas con servicios espaciales (Tierra-espacio). De acuerdo con el Cuadro 21-2 del Artículo 21 del RR, tales bandas de frecuencias por debajo de 5 GHz, utilizadas para el servicio fijo y los enlaces ascendentes de los servicios espaciales, son las siguientes:

- 1 610-1 645,5 MHz (para ciertos países)
- 1 646,5-1 660 MHz (para ciertos países)
- 1 670-1 675 MHz
- 1 980-2 010 MHz
- 2 010-2 025 MHz (para la Región 2)
- 2 025-2 110 MHz
- 2 655-2 670 MHz (para las Regiones 2 y 3)
- 2 670-2 690 MHz.

Sin embargo, el número 21.7 del Artículo 21 del RR reconoce que los sistemas transhorizonte en las bandas 1 700-1 710 MHz, 1 970-2 010 MHz, 2 025-2 110 MHz y 2 200-2 290 MHz pueden rebasar el límite de p.i.r.e. del número 21.3 del RR (+55 dBW) y el límite de potencia señalado en el número 21.5 del RR (+13 dBW), pero al mismo tiempo indica que deben observarse las disposiciones de los números 21.2 y 21.4 del RR (debe evitarse la órbita de los satélites geoestacionarios) y que, considerando las difíciles condiciones de compartición con otros servicios se insta a las administraciones a que reduzcan al mínimo el número de sistemas transhorizonte en estas bandas.

El Informe del ex CCIR a la CAMR-92 basó sus conclusiones en la viabilidad de la compartición entre sistemas espaciales y sistemas transhorizonte en las bandas 2 025-2 100 MHz y 2 200-2 290 MHz suponiendo que habría un número limitado de sistemas transhorizonte funcionando en estas bandas. Se previó la aparición de fuerte interferencia si el número de sistemas aumentaba de forma significativa. Es necesario realizar estudios adicionales, como indica la Recomendación 100 (Rev.CMR-03), para determinar las posibilidades y criterios de compartición entre sistemas transhorizonte y sistemas espaciales.

3.2 Bandas de frecuencias compartidas con servicios espaciales (espacio-Tierra)

Las bandas de frecuencias de mayor interés se encuentran en los márgenes 1 525-2 500 MHz, 2 500-2 690 MHz y 3 400-7 750 MHz. De acuerdo con el Artículo 21 del RR, las bandas de frecuencias pertinentes por debajo de 5 GHz son, más concretamente:

- entre 1 525 MHz y 2 500 MHz:
 - 1 525-1 530 MHz (para las Regiones 1 y 3)
 - 1 670-1 690 MHz
 - 1 690-1 700 MHz (para ciertos países)
 - 1 700-1 710 MHz
 - 2 200-2 300 MHz
- entre 2 500 MHz y 2 690 MHz:
 - 2 500-2 670 MHz
 - 2 670-2 690 MHz (para la Región 2)
- por encima de 3 400 MHz:
 - 3 400-4 200 MHz
 - 4 500-4 800 MHz.

Los servicios de radiocomunicación espacial pertinentes son el servicio fijo por satélite, el de radiodifusión por satélite, el de meteorología por satélite, el de operaciones espaciales y el de investigación espacial. Es necesario considerar tanto la interferencia causada a los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte por estaciones espaciales de los servicios espaciales como la interferencia causada a las estaciones terrenas de los servicios espaciales por sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte. También es necesario tener en cuenta que no todos los satélites se encuentran en la órbita de los satélites geoestacionarios.

Debe indicarse además que de acuerdo con el Artículo 5 del RR, las bandas 1 525-1 559 MHz, 1 626,5-1 660,5 MHz, 2 160-2 200 MHz, 2 483,5-2 500 MHz y 2 500-2 520 MHz están atribuidas a los servicios móviles por satélite (espacio-Tierra) y los procedimientos de coordinación y notificación de estas bandas están establecidos, pero no se han definido los límites absolutos máximos de densidad de flujo de potencia producida por las estaciones espaciales.

3.2.1 Interferencia causada por estaciones espaciales a sistemas transhorizonte

La Recomendación UIT-R SF.358 especifica los valores máximos de densidad de flujo de potencia que pueden producir en la superficie de la Tierra los satélites del servicio fijo por satélite que comparten bandas de frecuencias con sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa, incluidas las bandas de frecuencias 2 500-2 690 MHz y 3 400-7 750 MHz.

En el Cuadro 21-4 del Artículo 21 del RR también se estipulan los límites para las bandas de frecuencias entre 1 525 MHz y 2 500 MHz atribuidas a los servicios de meteorología por satélite, de investigación espacial y de operaciones espaciales. De acuerdo con el Cuadro 21-4 del Artículo 21 del RR, el límite de densidad de flujo de potencia de la Recomendación UIT-R SF.358 también es aplicable al servicio de radiodifusión por satélite en la banda 2 500-2 690 MHz además del servicio fijo por satélite.

Los valores de densidad de flujo de potencia especificados en la Recomendación UIT-R SF.358 se han calculado con objeto de proteger los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa. A este respecto, el número 21.16.3 del RR indica que «cuando ... se explote un servicio fijo que utilice la dispersión troposférica ... y si la separación de frecuencias es insuficiente, deberá preverse la suficiente separación angular entre la dirección en que se encuentre la estación espacial y la dirección de máxima radiación de la antena de la estación receptora del servicio fijo que utilice la dispersión troposférica, a fin de que la potencia interferente a la entrada del receptor de la estación del servicio fijo no exceda de -168 dBW en ninguna banda de 4 kHz de anchura».

La potencia interferente de -168 dBW, en una anchura de banda de 4 kHz, es equivalente a una temperatura de ruido térmico de 290 K. Esto parece ser un límite razonable en el caso de interferencia procedente de una sola fuente. Sin embargo, cuando es preciso suponer que un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte sufre interferencia procedente de fuentes múltiples de estaciones espaciales, puede ser apropiado un valor inferior.

En conclusión, es preciso evaluar la interferencia causada a un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte por estaciones espaciales situadas en la órbita de los satélites geoestacionarios que tengan la máxima densidad de flujo de potencia de acuerdo con la Recomendación UIT-R SF.358 (o de acuerdo con el RR para las bandas de 1 525-2 500 MHz), y asegurarse de que sus emisiones se encuentran dentro de límites aceptables.

La interferencia procedente de estaciones espaciales en órbitas no geoestacionarias debe evaluarse de modo estadístico. Sin embargo, no se dispone de información sobre este tema, con la salvedad de que los límites de densidad de flujo de potencia del Artículo 21 del RR se aplican también a las estaciones espaciales situadas en órbitas no geoestacionarias. Por consiguiente, el planificador de un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte debe establecer un modelo para evaluar la interferencia producida por estaciones espaciales en órbitas no geoestacionarias. Este asunto requiere estudios ulteriores.

3.2.2 Interferencia de sistemas transhorizonte a estaciones terrenas

El Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.1448 describe métodos para determinar las zonas de coordinación de las estaciones terrenas de los servicios fijo por satélite, de investigación espacial, de meteorología por satélite y de operaciones espaciales. En el Cuadro 2 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.1448 aparecen los parámetros necesarios para determinar la zona de coordinación de una estación terrena receptora. Este cuadro contiene los parámetros de las estaciones de relevadores radioeléctricos transhorizonte.

Por consiguiente, cuando un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte comparte una banda de frecuencias con los servicios espaciales antes mencionados (espacio-Tierra), como primer paso debe determinarse la zona de coordinación de las estaciones terrenas receptoras por el método descrito en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.1448. A continuación puede calcularse la interferencia potencial de las estaciones transhorizonte a las estaciones terrenas con arreglo al Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SF.1006. Tales cálculos deben asegurar que la interferencia causada a las estaciones terrenas esté dentro de límites aceptables.

4. Compartición de frecuencias con sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa

En muchos casos resulta casi inevitable la existencia de sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa cercanos que funcionan en bandas de frecuencias compartidas con sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte. Por consiguiente, es necesario considerar la interferencia causada por los sistemas con visibilidad directa a los sistemas transhorizonte y viceversa.

4.1 Interferencia de sistemas con visibilidad directa a sistemas transhorizonte

Cuando hay una separación de frecuencias insuficiente entre los sistemas con visibilidad directa y los sistemas transhorizonte, el nivel total de las señales interferentes procedentes de sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa debe hallarse dentro de límites aceptables. Un punto importante que debe tenerse en cuenta es que las señales interferentes pueden ser variables en el tiempo debido al desvanecimiento. En general, la variación del nivel de la señal interferente es independiente de la del nivel de la señal interferida.

Un posible criterio de interferencia podría consistir en que la potencia interferente adicional a la entrada del receptor de la estación del sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte sea inferior a $-168 + 10 \log (B/4)$ dBW en toda la anchura de banda del receptor, B (kHz), durante la mayor parte del tiempo, por ejemplo, durante más del 90% del tiempo. Como un sistema transhorizonte presenta normalmente una excursión amplia, parece apropiado evaluar la interferencia en términos de la anchura de banda total del receptor y no en función de una banda de 4 kHz de anchura.

4.2 Interferencia de sistemas transhorizonte a sistemas con visibilidad directa

En general, un sistema de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa está sometido a interferencias procedentes de varios otros sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa. Por lo tanto, las interferencias causadas a los sistemas con visibilidad directa por los sistemas transhorizonte deben considerarse como parte de las interferencias combinadas procedentes de otros sistemas de relevadores radioeléctricos. En el marco de las Recomendaciones UIT-R F.1094 y UIT-R F.1565 se estudian los límites máximos admisibles de tales interferencias.

Las interferencias causadas a los sistemas con visibilidad directa por los sistemas transhorizonte son, en cierto modo, similares a las procedentes de las estaciones terrenas de los servicios de radiocomunicación espacial. Una diferencia importante es que la p.i.r.e. de una estación terrena en dirección del horizonte es inferior a +40 dBW, en una anchura de banda de 4 kHz, en las bandas de frecuencias compartidas con el servicio fijo, para un ángulo de elevación de 0 (véase el número 21.8 del Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones o la Recomendación UIT-R SF.1004).

Por otro lado, la p.i.r.e. en dirección del haz principal de un sistema de relevadores radioeléctricos transhorizonte es generalmente mucho más elevada. Por consiguiente, en la gama de ángulos en que la p.i.r.e. del sistema transhorizonte supera el valor de +40 dBW, en una anchura de banda de 4 kHz, la distancia de separación necesaria es mayor que la correspondiente entre una estación de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa y una estación terrena.

5. Conclusión

Teniendo en cuenta el creciente desarrollo de las telecomunicaciones por satélite, es indiscutible que los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte revisten una importancia cada vez menor. No obstante, aún desempeñan un papel importante en diversas partes del mundo. Al mismo tiempo, debido a su elevada p.i.r.e. y a la gran sensibilidad de sus receptores, los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte pueden agravar la situación, ya difícil, de la compartición de frecuencias con otros servicios radioeléctricos, particularmente los espaciales.
