

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.2086-0
(09/2015)

Casos de implantación de sistemas punto a punto en el servicio fijo

Serie F
Servicio fijo



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

| Series | Título |
|------------|--|
| BO | Distribución por satélite |
| BR | Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión |
| BS | Servicio de radiodifusión (sonora) |
| BT | Servicio de radiodifusión (televisión) |
| F | Servicio fijo |
| M | Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos |
| P | Propagación de las ondas radioeléctricas |
| RA | Radioastronomía |
| RS | Sistemas de detección a distancia |
| S | Servicio fijo por satélite |
| SA | Aplicaciones espaciales y meteorología |
| SF | Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo |
| SM | Gestión del espectro |
| SNG | Periodismo electrónico por satélite |
| TF | Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias |
| V | Vocabulario y cuestiones afines |

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2016

© UIT 2016

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R F.2086-0

Casos de implantación de sistemas punto a punto en el servicio fijo

(Cuestión UIT-R 252/5)

(2015)

Alcance

En esta Recomendación figura información sobre casos de utilización y sus correspondientes estadísticas de sistemas inalámbricos fijos punto a punto que funcionan en el servicio fijo en la gama de frecuencias 1,4-86 GHz. Esta información puede utilizarse en los estudios de compartición e interferencia entre sistemas del servicio fijo y sistemas de otros servicios. Esta Recomendación se ha concebido para utilizarse junto con la Recomendación UIT-R F.758.

Palabras clave

Implantación, punto a punto, compartición, ángulo de elevación, longitud del enlace, altura de la antena

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que a menudo es necesario estudiar la compartición entre sistemas punto a punto (P-P) en el servicio fijo (SF) y sistemas en otros servicios en bandas de frecuencias atribuidas a ambos servicios con igualdad de derechos;
- b) que también es necesario tomar en consideración la interferencia de otros sistemas causada a los servicios que funcionan en la misma banda a título no primario, las emisiones no deseadas de otros sistemas en servicios que funcionan fuera de la banda atribuida al servicio fijo y las emisiones de fuentes distintas a los servicios de radiocomunicaciones;
- c) que se deben comprender los casos de implantación de sistemas en cada servicio a fin de establecer los modelos de compartición que se han de estudiar;
- d) que la disponibilidad de información básica sobre la implantación punto a punto del SF resulta útil para los estudios de compartición e interferencia relativos al SF y otros servicios,

observando

- a) que la Recomendación UIT-R F.758 contiene información sobre el establecimiento de criterios de compartición y evaluación de las condiciones de interferencia entre el SF y otros servicios, así como otras fuentes de interferencia;
- b) que la Recomendación UIT-R F.758 también proporciona orientación sobre las características técnicas y parámetros típicos de sistemas inalámbricos fijos que es necesario tomar en consideración al establecer los criterios de compartición y la compatibilidad con otros servicios y aplicaciones radioeléctricas;
- c) que las Recomendaciones UIT-R F.699 y UIT-R F.1245 ofrecen diagramas de antena de referencia P-P en el SF para valores del lóbulo lateral de cresta y promedios, respectivamente,

recomienda

que cuando no se disponga de información más específica se utilice la información consignada en el Anexo 1 para los casos de implantación punto a punto en el SF junto con los valores estadísticos del Anexo 2, que pueden utilizarse al estudiar la compartición o la interferencia entre sistemas punto a punto del SF y otros sistemas/aplicaciones en el SF y otros servicios.

Anexo 1

Casos de implantación de sistemas punto a punto en el servicio fijo

1 Introducción

A falta de información más específica, los parámetros e hipótesis indicados en la presente Recomendación se utilizarán por omisión en los estudios técnicos de compartición o interferencia relativos a sistemas P-P del SF en bandas por encima de 1 GHz¹ aproximadamente.

En aras de la sencillez, en la presente Recomendación las hipótesis relativas a las bandas de frecuencias se muestran para gamas de frecuencias amplias en algunos casos. Se trata de una simplificación y no implica problema alguno de atribución.

2 Casos de implantación de sistemas punto a punto del SF

El tipo de aplicación para el que se utilizan los sistemas P-P del SF y, por ende, la forma en que se implantan, varía sobremanera en cuanto a gama de frecuencias y contexto geográfico en cada administración.

- Las bandas inferiores de microondas, por debajo aproximadamente de 11 GHz permiten tramos largos, pero el ancho de los canales llega hasta 28/40 MHz, posiblemente el doble mediante agregación de canales dobles. Estas características resultan particularmente adecuadas para rutas largas entre ciudades (por ejemplo, en autopistas, vías férreas, líneas de tendido eléctrico y otras servidumbres de paso). Se pueden utilizar sistemas en estas bandas como alternativa a la fibra o la redundancia, en terrenos escabrosos en los que es difícil instalar fibra o en casos donde se desea una baja latencia. Los enlaces en estas bandas son menos comunes (o menos densos) en núcleos urbanos y el número total de enlaces en estas bandas son inferiores al de las altas frecuencias. Cabe observar que los enlaces radioeléctricos en estas bandas se implantan probablemente en una configuración en estrella que converge en una estación del SF situada en el núcleo urbano.
- Las bandas medias de microondas alrededor de 11-23 GHz también permiten tramos relativamente largos con canales más anchos que en bandas inferiores. Estas bandas se suelen utilizar para el enlace de conexión (*backhaul*) de la infraestructura móvil dentro de zonas urbanas y suburbanas, a menudo en configuración anillo o estrella. El número de enlaces y la densidad de la implantación en estas bandas puede llegar a ser muy elevado.

¹ A título descriptivo, la nomenclatura comúnmente utilizada para la gama de frecuencias comprendida entre 300 MHz y 300 GHz se denomina «microondas». En cuanto a bandas de frecuencias, según el número 2.1 del RR, la gama de frecuencias de 30 GHz a 300 GHz se denomina «ondas milimétricas».

- Las bandas superiores de microondas por encima aproximadamente de 23 GHz, pero por debajo de 30 GHz, son adecuadas para tramos cortos y pueden ofrecer gran ancho de banda. Estas bandas son las más populares en zonas urbanas como alternativa a la fibra, para enlazar campus o servir de enlace de conexión para emplazamientos celulares, especialmente de células pequeñas. Por lo general, los sistemas sólo se extienden a uno o dos tramos. El número de enlaces y la densidad de despliegue en estas bandas puede ser muy elevado en zonas urbanas densas, y la utilización de estas bandas está aumentando rápidamente.
- Las bandas de ondas milimétricas a frecuencias por encima de 30 GHz son adecuadas para tramos cortos y atractivas por su gran rendimiento (ancho de banda muy grande a elevada velocidad de datos). Las características de propagación y la directividad de la antena son ideales para la arquitectura de alta densidad de los enlaces punto a punto de corto alcance con una reutilización de frecuencias muy elevada. Los enlaces del servicio fijo en ondas milimétricas son capaces de proporcionar capacidad multigigabit similar a la fibra. Algunos de los enlaces podrían implantarse de manera no coordinada. Las posibles aplicaciones de los enlaces del servicio fijo en ondas milimétricas son, entre otros, el transporte por: redes de área local inalámbricas (WLAN), las redes de área personal inalámbricas (WPAN), la banda ancha móvil (es decir, los enlaces de conexión), los servicios multimedia nomadas de alta resolución y los sistemas inalámbricos de distribución de vídeo. Cabe esperar que la utilización de estas bandas aumente a medida que las tecnologías se desarrollen y consoliden.

Estas descripciones son generalizaciones y en la práctica la separación es difusa y existe solapamiento entre estas categorías de gamas de frecuencias y sus correspondientes aplicaciones.

Cabe observar que en la presente Recomendación no se examinan más las aplicaciones del servicio fijo en ondas milimétricas, en particular, las bandas de servicio fijo de 92-94 GHz y superiores. Por consiguiente, las referencias en esta Recomendación a «por encima de 23 GHz» no incluyen estas bandas de ondas milimétricas de frecuencias superiores para atribuciones al servicio fijo.

3 Parámetros punto a punto del SF para los estudios técnicos

3.1 Criterios de interferencia

En la Recomendación UIT-R F.758 figura información general y orientaciones sobre los criterios para estudios técnicos.

3.2 Parámetros del equipo punto a punto del SF

La referencia primaria para las hipótesis relativas a los parámetros del equipo del SF es la Recomendación UIT-R F.758, Anexo 2. Si no hay información sobre la gama de frecuencias de interés, en el Anexo 3 a la Recomendación UIT-R F.758 figura información adicional.

En los casos en los que no hay información pertinente en ninguno de estos Anexos, y cuando se desea analizar sistemas analógicos, el Informe UIT-R F.2108 es un archivo de información adicional sobre equipos, aunque posiblemente obsoleta.

3.3 Diagramas de referencia de la antena

La selección adecuada del diagrama de referencia de la antena para analizar sistemas punto a punto del SF depende del caso que se esté estudiando:

- en los casos en los que haya una sola fuente de interferencia (o un número reducido) con geometría estática, se recomienda utilizar el diagrama de valores de cresta del lóbulo lateral, como el descrito en la Recomendación UIT-R F.699;

- en caso de análisis estadístico y de la variación con el tiempo, así como en los casos donde existe una combinación de interferencia causada por numerosas fuentes y para análisis estadístico espacial, la utilización del diagrama de valores de cresta del lóbulo lateral dará lugar a una sobreestimación del nivel de interferencia. En estos casos, se recomienda utilizar un diagrama del lóbulo lateral en valores medios, como el descrito en la Recomendación UIT-R F.1245.

3.4 Modelos de propagación

Para efectuar el análisis de la interferencia se deben utilizar las Recomendaciones pertinentes de la serie P.

3.5 Parámetros relacionados con la implantación

En este Anexo se describen los siguientes parámetros relacionados con la implantación para su utilización en estudios de compartición e interferencia que impliquen sistemas P-P en el servicio fijo:

- longitud del enlace;
- ángulo de elevación de la antena;
- altura de la antena respecto del suelo.

En el Anexo 2 se resumen datos estadísticos de estos parámetros facilitados por algunas administraciones.

Al realizar estudios de compartición con sistemas P-P en el servicio fijo que funcionan en una determinada banda de frecuencias, puede resultar útil la información suministrada en los Cuadros A1-1 a A1-4, en los que se muestran las relaciones entre datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación del Anexo 2 y las correspondientes bandas de frecuencias identificadas en la Recomendación UIT-R F.758.

Para las bandas de frecuencias que no figuran en ninguna de las columnas de la izquierda de los Cuadros, se recomienda utilizar los datos estadísticos disponibles en la banda más próxima.

CUADRO A1-1

Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación en las bandas de frecuencias identificadas en la Recomendación UIT-R F.758 por debajo de 6 GHz

| Segmento de la banda de frecuencias de la Rec. UIT-R F.758 (GHz) | Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación para las bandas de frecuencia indicadas en la columna de la izquierda | |
|--|---|-----------------------------------|
| 1,350-1,530 | Cuadros A2-1A, A2-1B y A2-1C en el Anexo 2 | Banda 1,375-1,400/1,427-1,452 GHz |
| 1,700-2,100/1,900-2,300 | | Banda 2,025-2,110/2,200-2,285 GHz |
| 2,290-2,670 | | Banda 2,025-2,110/2,200-2,285 GHz |
| 3,600-4,200 | | Banda 3,7-4,2 GHz |
| 4,400-5,000 | | Nota |

NOTA – Datos no disponibles por el momento.

CUADRO A1-2

Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación en las bandas de frecuencias identificadas en la Recomendación UIT-R F.758 para la banda 6-10 GHz

| Segmento de la banda de frecuencias de la Rec. UIT-R F.758 (GHz) | Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación para las bandas de frecuencia indicadas en la columna de la izquierda | |
|---|--|---|
| 5,925-6,425 | Cuadros A2-2A, A2-2B y A2-2C en el Anexo 2 | Banda 5,925-6,425 GHz Banda 6 GHz |
| 6,425-7,125 | | Banda 6,425-7,125 GHz Banda 7 GHz |
| 7,110-7,900 | | Banda 7 GHz Banda 7,125-7,725 GHz Banda 7,425-7,75 GHz |
| 7,725-8,500 | | Banda 7,725-8,275 GHz Banda 8,025-8,500 GHz Banda 8 GHz |
| 10,5-10,68 | | Banda 10 GHz |

CUADRO A1-3

Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación en las bandas de frecuencias identificadas en la Recomendación UIT-R F.758 para la banda 11-23 GHz

| Segmento de la banda de frecuencias de la Rec. UIT-R F.758 (GHz) | Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación para las bandas de frecuencia indicadas en la columna de la izquierda | |
|---|--|---|
| 10,7-11,7 | | Banda 11 GHz Banda 10,7-11,7 GHz |
| 12,75-13,25 | Cuadros A2-3A, A2-3B y A2-3C en el Anexo 2 | Banda 13 GHz |
| 14,4-15,35 | | Banda 14,25-14,5 GHz Banda 15 GHz Banda 14,4-15,23 GHz Banda 14,5-15,35 GHz |
| 17,7-19,7 | | Banda 17,7-19,7 GHz Banda 18 GHz Banda 17,8-18,3/19,3-19,7 GHz Banda 17,82-18,72 GHz |
| 21,2-23,6 | | Banda 23 GHz Banda 22-23,6 GHz Banda 22,4-22,6/23,0-23,2 GHz |

CUADRO A1-4

Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación en las bandas de frecuencias identificadas en la Recomendación UIT-R F.758 por encima de 23 GHz

| Segmento de la banda de frecuencias de la Rec. UIT-R F.758 (GHz) | Datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación para las bandas de frecuencia indicadas en la columna de la izquierda | |
|--|---|---|
| 24,25-29,50 | Cuadros A2-4A, A2-4B y A2-4C en el Anexo 2 | Banda 26 GHz Banda 25,053-25,431/ 26,061-26,439 GHz Banda 28 GHz |
| 31,8-33,4 | | Banda 32 GHz |
| 36,0-40,5 | | Banda 38 GHz |
| 51,4-52,6 | | Nota |
| 55,78-59,0 | | Nota |
| 71-76/81-86 | | Banda 75 GHz Banda 71-76/81-86 GHz |

NOTA – Datos no disponibles por el momento.

3.5.1 Longitud del enlace

Las longitudes de los enlaces del servicio fijo podría determinarse, dentro de la aplicación para la que se utiliza el sistema P-P del SF, teniendo en cuenta los siguientes factores (véase también el § 2 del presente Anexo: Casos de implantación de sistemas punto a punto del SF):

- rendimiento del enlace requerido (o disponibilidad);
- visibilidad directa.

En el caso del enlace de conexión (*backhaul*) para la infraestructura móvil, la distancia entre las estaciones base móviles o entre estaciones base móviles y el nodo de alto nivel (estación del núcleo de red) se convierte en un factor fundamental.

3.5.2 Dirección de puntería de la antena

En ciertas bandas de frecuencias compartidas con los servicios espaciales por encima de 1 GHz, la dirección de máxima radiación de cualquier antena del SF que rebasa cierto límite de p.i.r.e. se separa de la órbita de los satélites geoestacionarios de 1,5 a 2 grados, de conformidad con la disposición pertinente el Artículo 21 del RR, en la medida de lo posible. En los estudios de la compartición entre el servicio fijo y los servicios espaciales, será un factor importante si se ha aplicado (o sigue aplicándose) la mencionada evitación del arco al caso de implantación del SF en la banda de frecuencias considerada.

3.5.2.1 Acimut de la antena

En los estudios generales de la compartición, puede suponerse que los ángulos acimut (en grados, dextrógiro desde el norte real) variarán uniformemente entre cero y 360 grados. En la medida de lo posible, lo ideal es aplicar esta suposición a cada enlace en lugar de a la estación, pero puede resultar aceptable aplicarlo por estación si existen limitaciones en la simulación o el método de análisis utilizado.

3.5.2.2 Angulo de elevación de la antena

Este parámetro es un factor importante al analizar la interferencia recibida o causada por estaciones espaciales. Obsérvese que, para este parámetro, se espera un ángulo de elevación medio negativo, especialmente en enlaces más largos, debido al efecto de la refracción atmosférica alrededor de la curvatura de la Tierra (véase el Apéndice del Anexo 2).

3.5.3 Altura de la antena respecto del suelo

Este parámetro es un factor importante al analizar las pérdidas por ecos parásitos en entornos urbanos o al evaluar la visibilidad directa o interferencia recibidas y causadas por estaciones terrenales, comprendidas las estaciones terrenales en los servicios espaciales.

3.5.4 Polarización

Los sistemas fijos punto a punto utilizan polarización horizontal y/o vertical. Cuando se estudia el impacto causado o recibido por sistemas con polarización circular (como los sistemas de satélite), no es necesario especificar el tipo de polarización utilizado.

Cuando es necesario distinguir entre polarización horizontal y vertical, será necesario especificar en qué medida se utilizan tecnologías tales como polarización doble canal (CCDP) para aumentar la capacidad del sistema. Los sistemas punto a punto tradicionales alternan normalmente entre enlaces de polarización horizontal y vertical, prácticamente divididos por igual entre las dos polarizaciones y cada enlace utiliza una u otra polarización. Los sistemas con CCDP emplearán los dos tipos de polarización, horizontal y vertical, en cada enlace.

3.6 Dependencia entre los parámetros

Cabe señalar que la longitud del enlace, el ángulo de elevación y la altura de la antena son parámetros dependientes. Conocidos dos de estos parámetros, el tercero se puede calcular. Este aspecto se ha de tener en cuenta al establecer casos de compartición.

Por ejemplo, para un determinado caso, el número de enlaces aleatorios podría definirse a partir de determinadas distribuciones estadísticas de las longitudes del enlace y las alturas de antena. En tal caso, los correspondientes ángulos de elevación de las antenas se calculan para cada enlace utilizando los valores estadísticos especificados en la presente Recomendación.

Otro ejemplo es el de establecer un caso partiendo de un número de estaciones situadas aleatoriamente sin establecer relación de enlace, haciendo caso omiso de las estadísticas de la longitud del enlace, y aplicar a cada una de esas estaciones distribuciones del ángulo de elevación y altura de la antena.

Anexo 2

Resumen de datos estadísticos de los parámetros relacionados con la implantación para sistemas P-P en el servicio fijo que funcionan en diversas bandas de frecuencias

1 Introducción

Basándose en las contribuciones de varias administraciones, en el presente Anexo se resumen datos estadísticos del ángulo de elevación de la antena, la longitud de enlace y la altura de la antena respecto del suelo, que son parámetros característicos relacionados con la implantación de sistemas P-P del SF, para su utilización en estudios de compartición e interferencia en los que intervienen sistemas P-P del SF.

2 Resumen de datos estadísticos

2.1 Bandas de frecuencias por debajo de 6 GHz

CUADRO A2-1A

Ángulo de elevación (grados)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana ² | Desviación típica |
|---------|-----------------------------|---------------------|-------------|----------|----------|----------------------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 1,375-1,400/ 1,427-1,452 | 1 614 | -3,8:4,4 | -1,9:2,2 | -0,4:0,4 | -0,01 | 3,37 |
| Canadá | 2,025-2,110/ 2,200-2,285 | 6 350 | -0,9:0,3 | -0,6:0,1 | -0,3:0 | -0,2 | 0,9 |
| Canadá | 3,7-4,2 | 1 580 | -1,4:0,7 | -0,7:0,4 | -0,3:0 | -0,2 | 0,8 |

CUADRO A2-1B

Longitud del enlace (km)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|-----------------------------|---------------------|-------------|--------|--------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 1,375-1,400/ 1,427-1,452 | 1 614 | 2,2:44 | 3,6:37 | 8,3:27 | 17,3 | 14,6 |
| Canadá | 2,025-2,110/ 2,200-2,285 | 6 350 | 1:83 | 1:67 | 15:53 | 39 | 29 |
| Canadá | 3,7-4,2 | 1 580 | 1:84 | 2:72 | 7:57 | 41 | 28 |

CUADRO A2-1C

Altura de la antena (metros sobre el nivel del suelo)³

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana ³ | Desviación típica |
|---------|-----------------------------|---------------------|-------------|--------|-------|----------------------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 1,375-1,400/ 1,427-1,452 | 1 614 | 5:53 | 6:45 | 10:33 | 20 | 16,8 |
| Canadá | 2,025-2,110/ 2,200-2,285 | 6 350 | 3:127 | 5:105 | 15:80 | 47 | 42 |
| Canadá | 3,7-4,2 | 1 580 | 15:140 | 20:131 | 20:85 | 39 | 42 |

² Cabe esperar un ángulo de elevación medio negativo, especialmente en enlaces largos, debido al efecto de la refracción atmosférica alrededor de la curvatura de la Tierra (véase el Apéndice al Anexo 2).

³ La altura por encima del nivel del suelo incluye la estructura de la antena más la del edificio sobre el que esté situada la antena.

2.2 Bandas de frecuencias de 6 a unos 11 GHz

CUADRO A2-2A
 Ángulo de elevación (grados)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana ⁴ | Desviación típica | |
|---------|-------------|---------------------|-------------|------------|-------------|----------------------|-------------------|-------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | | |
| Canadá | 5,925-6,425 | 31 423 | -0,8:0,5 | -0,5:0,1 | -0,3:0 | -0,2 | 1,4 | |
| Canadá | 6,425-6,930 | 21 126 | -0,7:0,5 | -0,5:0,2 | -0,2:0 | -0,1 | 1,1 | |
| Francia | 5,925-6,425 | 1 937 | -1,5:1,6 | -0,7:0,9 | -0,1:0,2 | 0,03 | 1,13 | |
| Francia | 6,425-7,125 | 2 756 | -2,3:2,3 | -1:1,3 | -0,2:0,2 | 0,01 | 1,5 | |
| Polonia | 6 | 1 262 | -0,62:0,42 | -0,35:0,13 | -0,19:-0,03 | -0,106 | 0,487 | |
| Polonia | 7 | 1 280 | -0,45:0,29 | -0,29:0,16 | -0,15:0,01 | -0,080 | 4,739 | |
| Canadá | 7,125-7,725 | 20 684 | -1,4:0,8 | -0,9:0,3 | -0,4:0 | -0,2 | 1,5 | |
| Canadá | 7,725-8,275 | 7 772 | -1,0:0,5 | -0,6:0,2 | -0,2:0 | -0,1 | 0,8 | |
| Japón | 7,425-7,75 | 16 380 | -7,29:7,26 | -4,50:4,45 | -1,41:1,32 | -0,119 | 6,472 | |
| Francia | 8,025-8,500 | 2 257 | -2,4:5,8 | -1,5:3,5 | -0,25:1,12 | 0,13 | 3,24 | |
| Polonia | 8 | 1 856 | -0,37:0,20 | -0,27:0,06 | -0,18:-0,03 | -0,114 | ,347 | |
| Canadá | 10,55-10,68 | 1 272 | -1,0:0,86 | -0,56:0,43 | -0,22:0,11 | -0,05 | 0,87 | |
| Canadá | 10,7-11,7 | 24 571 | -1,7:1,1 | -0,8:0,5 | -0,3:0,1 | -0,1 | 1,4 | |
| Francia | 10,7-11,7 | 2 491 | -2,7:3 | -1,45:1,5 | -0,35:0,42 | 0,0 | 1,92 | |
| Japón | 10,7-11,7 | 23 448 | -3,10:3,07 | -1,85:1,80 | -0,60:0,55 | -0,027 | 2,078 | |
| Polonia | 10 | Tx | 78 | -0,52:4,08 | -0,26:2,80 | -0,01:1,28 | 0,525 | 1,392 |
| | | Rx | 78 | -4,08:0,30 | -2,81:0,21 | -1,32:-0,17 | -0,579 | 1,373 |
| Polonia | 11 | 1 431 | -0,38:0,29 | -0,29:0,17 | -0,17:0,00 | -0,076 | 0,354 | |

CUADRO A2-2B
 Longitud del enlace (km)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|-------------|---------------------|-------------|-----------|-----------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Canadá | 5,925-6,425 | 31 423 | 9:74 | 15:64 | 28:51 | 40 | 18 |
| Canadá | 6,425-6,930 | 21 126 | 5:68 | 8:59 | 17:45 | 30 | 20 |
| Francia | 5,925-6,425 | 1 937 | 12:49 | 14:43 | 19:37 | 28 | 12,6 |
| Francia | 6,425-7,125 | 2 756 | 8,2:46 | 10:42 | 15:30 | 21,7 | 12,5 |
| Polonia | 6 | 1 262 | 19,6:51,4 | 21,9:46,5 | 27,2:38,6 | 33,3 | 10,08 |
| Polonia | 7 | 1 280 | 11,7:41,1 | 14,4:34,0 | 17,1:26,8 | 21,2 | 9,06 |
| Canadá | 7,125-7,725 | 20 684 | 6:75 | 11:70 | 20:53 | 38 | 23 |

⁴ Cabe esperar un ángulo de elevación medio negativo, especialmente en enlaces largos, debido al efecto de la refracción atmosférica alrededor de la curvatura de la Tierra (véase el Apéndice al Anexo 2).

CUADRO A2-2B (cont.)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|-------------|---------------------|-------------|------------|-----------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Canadá | 7,725-8,275 | 7 772 | 5:59 | 6:47 | 13:35 | 22 | 17 |
| Japón | 7,425-7,75 | 8 570 | 1,7:48,8 | 3,5:39,8 | 8,6:26,0 | 14,8 | 14,684 |
| Francia | 8,025-8,500 | 2 257 | 2,7:50 | 4,8:41 | 10:28 | 17,43 | 14,9 |
| Polonia | 8 | 1 856 | 15,9:47,0 | 19,0:44,6 | 25,7:39,5 | 33,4 | 9,91 |
| Canadá | 10,55-10,68 | 1 272 | 6:27 | 7:22 | 10:17 | 13 | 6,41 |
| Canadá | 10,7-11,7 | 24 571 | 3:45 | 4:34 | 7:21 | 13 | 14 |
| Francia | 10,7-11,7 | 2 491 | 4,8:26 | 6,4:22 | 9,2:17 | 12,51 | 6,71 |
| Japón | 10,7-11,7 | 11 724 | 2,14:14,05 | 2,97:12,24 | 4,85:9,47 | 6,994 | 3,666 |
| Polonia | 10 | 78 | 1,1:39,2 | 1,7:20,5 | 3,6:12,6 | 6,9 | 10,97 |
| Polonia | 11 | 1 431 | 8,0:39,0 | 11,0:36,0 | 14,7:30,4 | 21,3 | 9,70 |

CUADRO A2-2C

Altura de la antena (metros sobre el nivel del suelo)⁵

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana ⁵ | Desviación típica | |
|---------|-------------|---------------------|-------------|------------|------------|----------------------|-------------------|------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | | |
| Canadá | 5,925-6,425 | 31 423 | 14:105 | 20:95 | 35:78 | 55 | 41 | |
| Canadá | 6,425-6,930 | 21 126 | 15:115 | 20:102 | 36:81 | 54 | 32 | |
| Francia | 5,925-6,425 | 1 937 | 5:53 | 6:45 | 10:33 | 33 | 22,8 | |
| Francia | 6,425-7,125 | 2 756 | 8:64 | 10:55 | 17:43 | 30 | 19,6 | |
| Polonia | 6 | 1 262 | 24,2:115,0 | 29,2:88,5 | 39,1:69,3 | 55,0 | 27,9 | |
| Polonia | 7 | 1 280 | 23,0:89,9 | 33,5:75,0 | 41,2:62,0 | 52,0 | 22,7 | |
| Canadá | 7,125-7,725 | 20 684 | 11:119 | 15:105 | 24:76 | 45 | 34 | |
| Canadá | 7,725-8,275 | 7 772 | 19:110 | 23:89 | 37:73 | 52 | 27 | |
| Japón | 7,425-7,75 | 9 152 | 10,8:82,0 | 13,8:58,5 | 19,2:40,93 | 27,2 | 31,163 | |
| Francia | 8,025-8,500 | 2 257 | 5,5:72 | 8:58 | 12:36 | 21 | 25 | |
| Polonia | 8 | 1 856 | 30,0:88,0 | 35,4:80,0 | 46,0:68,0 | 58,9 | 16,8 | |
| Canadá | 10,55-10,68 | 1 272 | 15:82 | 20:66 | 30:50 | 40 | 24,1 | |
| Canadá | 10,7-11,7 | 24 571 | 15:92 | 23:80 | 33:59 | 44 | 25 | |
| Francia | 10,7-11,7 | 2 491 | 8:55 | 10:48 | 17,5:39 | 29 | 17,11 | |
| Japón | 10,7-11,7 | 23 448 | 17,0:84,0 | 21,4:69,3 | 28,0:51,1 | 40,5 | 23,435 | |
| Polonia | 10 | Tx | 78 | 7,9:82,0 | 10,0:80,0 | 16,0:45,8 | 25,5 | 27,9 |
| | | Rx | 78 | 14,9:161,8 | 18,8:142,0 | 33,8:80,8 | 50,0 | 48,0 |
| Polonia | 11 | 1 431 | 27,6:105,0 | 35,0:86,0 | 44,0:69,6 | 58,0 | 23,8 | |

⁵ La altura por encima del nivel del suelo incluye la estructura de la antena más la del edificio sobre el que esté situada la antena.

2.3 Bandas de frecuencias de 12 a 23 GHz

CUADRO A2-3A
 Ángulo de elevación (grados)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana ⁶ | Desviación típica |
|---------|-------------------------|---------------------|-------------|------------|------------|----------------------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 12,75-13,25 | 8 323 | -2,7:2,8 | -1,4:1,4 | -0,35:0,33 | -0,01 | 2,31 |
| Polonia | 13 | 7 136 | -0,60:0,48 | -0,38:0,27 | -0,19:0,06 | -0,064 | 0,543 |
| Francia | 14,25-14,5 | 186 | -7,35:12,9 | -3,02:7,32 | -0,41:2,6 | 0,14 | 6,61 |
| Canadá | 14,5-15,35 | 16 152 | -1,3:0,8 | -0,9:0,5 | -0,3:0,1 | -0,1 | 1,1 |
| Japón | 14,4-15,23 | 10 316 | -3,30:3,27 | -1,92:1,89 | -0,60:0,60 | -0,018 | 2,123 |
| Polonia | 15 | 5 836 | -0,55:0,47 | -0,35:0,25 | -0,18:0,08 | -0,049 | 0,446 |
| Francia | 17,7-19,7 | 7 127 | -3,3:3,37 | -1,57:1,79 | -0,38:0,48 | 0,02 | 2,69 |
| Canadá | 17,8-18,3/ 19,3-19,7 | 19 448 | -1,9:1,0 | -1,1:0,6 | -0,5:0,2 | -0,1 | 2,2 |
| Japón | 17,82-18,72 | 15 892 | -9,22:9,22 | -5,04:5,02 | -1,35:1,34 | -0,040 | 6,563 |
| Polonia | 18 | 9 137 | -0,79:0,73 | -0,44:0,38 | -0,18:0,10 | -0,041 | 1,226 |
| Canadá | 21,6-22,4/ 23,0-23,6 | 13 345 | -1,95:1,92 | -1,19:1,27 | -0,46:0,43 | -0,01 | 2,07 |
| Japón | 22,4-22,6/ 23,0-23,2 | 1 148 | -20,7:20,7 | -13,7:13,7 | -3,69:3,68 | -0,098 | 11,864 |
| Francia | 22-23,6 | 13 303 | -3,2:3,1 | -1,55:1,53 | -0,42:0,41 | 0,0 | 2,78 |
| Polonia | 23 | 24 344 | -1,09:1,06 | -0,65:0,61 | -0,24:0,19 | -0,030 | 1,064 |

CUADRO A2-3B
 Longitud del enlace (km)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|-------------------------|---------------------|-------------|-----------|-----------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 12,75-13,25 | 8 323 | 4:28 | 5,7:24 | 8,5:18 | 12,7 | 8,08 |
| Polonia | 13 | 7 136 | 8,8:31,5 | 10,6:28,6 | 13,8:23,2 | 17,7 | 7,26 |
| Francia | 14,25-14,5 | 186 | 2:25 | 3,7:22 | 7:16 | 10,7 | 7,13 |
| Canadá | 14,5-15,35 | 16 152 | 2:32 | 3:25 | 5:15 | 9 | 11 |
| Japón | 14,4-15,23 | 5 158 | 1,83:7,42 | 2,38:6,52 | 3,24:5,39 | 4,211 | 1,878 |
| Polonia | 15 | 5 836 | 27,0:68,0 | 34,0:63,0 | 43,5:53,3 | 46,0 | 12,9 |
| Francia | 17,7-19,7 | 7 127 | 1,5:16 | 2,3:14 | 4,3:10 | 7,3 | 5,1 |
| Canadá | 17,8-18,3/ 19,3-19,7 | 19 448 | 2:30 | 2:22 | 3:12 | 6 | 10 |

⁶ Cabe esperar un ángulo de elevación medio negativo, especialmente en enlaces largos, debido al efecto de la refracción atmosférica alrededor de la curvatura de la Tierra (véase el Apéndice al Anexo 2).

CUADRO A2-3B (cont.)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|-------------------------|---------------------|-------------|----------|----------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Japón | 17,82-18,72 | 7 944 | 0,7:6,89 | 1,1:5,8 | 1,8:4,0 | 2,7 | 1,882 |
| Polonia | 18 | 9 137 | 3,7:20,4 | 5,3:18,0 | 8,4:14,5 | 11,4 | 4,95 |
| Canadá | 21,6-22,4/ 23,0-23,6 | 13 345 | 1:8 | 1:6 | 2:4 | 3 | 17,69 |
| Japón | 22,4-22,6/ 23,0-23,2 | 592 | 0,7:7,6 | 1,0:3,9 | 1,5:3,0 | 2,2 | 2,436 |
| Francia | 22,2-23,6 | 13 303 | 1,3:13 | 2,1:11 | 4,1:8,6 | 6,2 | 3,58 |
| Polonia | 23 | 24 344 | 2,1:14,3 | 3,1:12,5 | 5,1:9,8 | 7,4 | 3,74 |

CUADRO A2-3C

Altura de la antena (metros sobre el nivel del suelo)⁷

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|-------------------------|---------------------|-------------|------------|------------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 12,75-13,25 | 8 323 | 7:52 | 10:45 | 17:37 | 27,7 | 16,61 |
| Polonia | 13 | 7 136 | 17,0:104,1 | 25,0:80,0 | 37,0:58,0 | 46,0 | 28,8 |
| Francia | 14,25-14,5 | 186 352 | 6:52 | 8:45 | 12:34 | 20 | 16,67 |
| Canadá | 14,5-15,35 | 16 152 | 22:94 | 26:82 | 34:58 | 43 | 24 |
| Japón | 14,4-15,23 | 10 316 | 19,78:91,83 | 22,4:74,4 | 31,2:52,0 | 41,20 | 26,073 |
| Polonia | 15 | 5 836 | 27,0:68,0 | 34,0:63,0 | 43,5:53,3 | 46,0 | 12,9 |
| Francia | 17,7-19,7 | 7 127 | 8,6:55 | 11,7:47 | 20:38 | 29 | 17,84 |
| Canadá | 17,8-18,3/ 19,3-19,7 | 19 448 | 18:91 | 23:75 | 30:52 | 40 | 24 |
| Japón | 17,82-18,72 | 10 232 | 11,7:71,89 | 15,0:52,59 | 22,38:41,0 | 32,0 | 30,939 |
| Polonia | 18 | 9 137 | 20,0:84,1 | 27,0:69,3 | 38,0:58,0 | 45,0 | 22,8 |
| Canadá | 21,6-22,4/ 23,0-23,6 | 13 345 | 11:74 | 15:60 | 25:44 | 33 | 23,7 |
| Japón | 22,4-22,6/ 23,0-23,2 | 538 | 5,0:68,5 | 6,0:51,29 | 12,3:35,4 | 24,0 | 21,885 |
| Francia | 22-23,6 | 13 303 | 9:50 | 12:44 | 20:36 | 28 | 15,26 |
| Polonia | 23 | 24 344 | 15,0:82,0 | 21,5:65,0 | 33,5:52,0 | 42,0 | 24,1 |

⁷ La altura por encima del nivel del suelo incluye la estructura de la antena más la del edificio sobre el que esté situada la antena.

2.4 Bandas de frecuencias por encima de 23 GHz

CUADRO A2-4A
 Ángulo de elevación (grados)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana ⁸ | Desviación típica |
|---------|---------------------------------|---------------------|-------------|------------|------------|----------------------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 25,053-25,431/ 26,061-26,439 | 3 582 | -3,03:3,35 | -1,6:2,09 | -0,5:0,6 | 0,03 | 2,68 |
| Polonia | 26 | 626 | -2,46:2,44 | -1,40:1,38 | -0,53:0,50 | -0,017 | 2,366 |
| Polonia | 28 | 8 | -:- | -:- | -0,38:0,34 | -0,041 | 0,378 |
| Francia | 31,871-32,543/ 32,683-33,355 | 122 | -0,83:4,3 | -0,31:3,24 | 0,05:1,27 | 0,5 | 1,90 |
| Polonia | 32 | 7 587 | -2,13:2,12 | -1,36:1,34 | -0,56:0,54 | -0,005 | 2,177 |
| Francia | 38 | 7 554 | -3,8:4,3 | -2,09:2,36 | -0,73:0,71 | -0,04 | 3,13 |
| Polonia | 38 | 30 437 | -3,59:3,59 | -2,17:2,17 | -0,85:0,83 | -0,004 | 3,600 |
| Francia | 71-76/81-86 | 61 | -1,7:4,3 | -0,9:2,6 | -0,2:1 | 0,34 | 2,15 |
| Polonia | 75 | 176 | -3,12:3,11 | -2,54:2,54 | -1,01:1,00 | -0,004 | 2,366 |

CUADRO A2-4B
 Longitud del enlace (km)

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|---------------------------------|---------------------|-------------|---------|----------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 25,053-25,431/ 26,061-26,439 | 3 582 | 0,7:8 | 1,07:6 | 1,85:5 | 3,06 | 2,12 |
| Polonia | 26 | 626 | 0,8:9,0 | 1,0:7,6 | 2,0:5,8 | 3,3 | 2,63 |
| Polonia | 28 | 8 | -:- | -:- | 4,9:11,3 | 7,1 | 3,08 |
| Francia | 31,871-32,543/ 32,683-33,355 | 122 | 0,72:5 | 1:4,4 | 1,5:4 | 2,5 | 1,43 |
| Polonia | 32 | 7 587 | 0,5:7,2 | 0,7:6,2 | 1,1:3,7 | 2,0 | 2,15 |
| Francia | 38 | 7 554 | 0,5:5 | 0,8:4 | 1,3:3 | 2,29 | 1,38 |
| Polonia | 38 | 30 437 | 0,4:4,6 | 0,5:3,9 | 1,0:2,7 | 1,7 | 1,35 |
| Francia | 71-76/81-86 | 61 | 0,5:2,8 | 0,7:2,7 | 1:2,3 | 1,87 | 0,95 |
| Polonia | 75 | 176 | 0,3:2,0 | 0,5:1,9 | 0,7:1,8 | 1,0 | 0,66 |

⁸ Cabe esperar un ángulo de elevación medio negativo, especialmente en enlaces largos, debido al efecto de la refracción atmosférica alrededor de la curvatura de la Tierra (véase el Apéndice al Anexo 2).

CUADRO A2-4C

Altura de la antena (metros sobre el nivel del suelo)⁹

| | Banda (GHz) | Número de registros | Percentiles | | | Mediana | Desviación típica |
|---------|---------------------------------|---------------------|-------------|-----------|-----------|---------|-------------------|
| | | | 5:95 | 10:90 | 25:75 | | |
| Francia | 25,053-25,431/ 26,061-26,439 | 3 582 | 10:56 | 14:48 | 21:38 | 29 | 18,13 |
| Polonia | 26 | 626 | 14,4:110,3 | 18,0:79,5 | 26,0:55,0 | 38,3 | 29,2 |
| Polonia | 28 | 8 | —:— | —:— | 33,5:99,8 | 50,0 | 32,2 |
| Francia | 31,871-32,543/ 32,683-33,355 | 122 | 13:63 | 17:52 | 24:43 | 33 | 19 |
| Polonia | 32 | 7 587 | 13,0:98,0 | 16,0:68,2 | 21,4:40,0 | 28,0 | 29,5 |
| Francia | 38 | 7 554 | 10:53 | 14:46 | 20,5:36,5 | 28 | 16,88 |
| Polonia | 38 | 30 437 | 12,0:85,0 | 15,0:64,0 | 22,0:44,5 | 33,5 | 26,5 |
| Francia | 71-76/81-86 | 61 | 12:50 | 16:46 | 21:36 | 29,05 | 11,59 |
| Polonia | 75 | 176 | 11,0:68,2 | 13,6:49,0 | 17,0:38,9 | 26,3 | 21,4 |

Apéndice al Anexo 2

Guía para el cálculo del ángulo de elevación teniendo en cuenta la refracción atmosférica alrededor de la curvatura de la Tierra

Para toda distancia d la curvatura de la Tierra se ha tomado en consideración y se han utilizados las ecuaciones de la Recomendación UIT-R P.1812-3:

$$\theta_{\text{tdeg}} = \theta_{\text{trad}} \cdot \frac{10^{-3} \cdot 180}{\pi} \quad \text{grados}$$

siendo:

$$\theta_{\text{td}} = 1000 \arctan \left(\frac{h_{rs} - h_{ts}}{10^3 d} - \frac{d}{2 a_e} \right)$$

a_e : radio de la Tierra medio efectivo, adecuado al trayecto

h_{ts} : altura de la antena transmisora sobre el nivel medio del mar (m)

h_{rs} : altura de la antena receptora sobre el nivel medio del mar (m)

d : distancia total del trayecto de círculo máximo (km).

⁹ La altura por encima del nivel del suelo incluye la estructura de la antena más la del edificio sobre el que esté situada la antena.

El factor del radio medio efectivo de la Tierra k_{50} para el trayecto considerado viene dado por la siguiente expresión:

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$$

ΔN : valor medio del gradiente de la refractividad radioelétrica (N -unidades/km)

El valor medio del radio efectivo de la Tierra a_e es igual a:

$$a_e = 6371 \cdot k_{50} \quad \text{km.}$$
