

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R BO.1659-1 (01/2012)

Técnicas de reducción de la atenuación debida a la lluvia aplicables a sistemas del servicio de radiodifusión por satélite en las bandas de frecuencias entre 17,3 GHz y 42,5 GHz

Serie BO
Distribución por satélite



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, 2012

© UIT 2012

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 BO.1659-1

Técnicas de reducción de la atenuación debida a la lluvia aplicables a sistemas del servicio de radiodifusión por satélite en las bandas de frecuencias entre 17,3 GHz y 42,5 GHz

(2003-2012)

Cometido

Esta Recomendación describe las técnicas para reducir la atenuación debida a la lluvia que deben tenerse en cuenta para facilitar la introducción de sistemas del SRS en las bandas de frecuencias entre 17,3 GHz y 42,5 GHz. Entre las técnicas se incluye el aumento de la p.i.r.e., la transmisión jerárquica y el uso de sistemas de radiodifusión con almacenamiento en el receptor.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los sistemas del SRS que utilizan bandas de frecuencias a partir de 17,3 GHz pueden transmitir servicios multiprogramas digitales de banda ancha en RF, por ejemplo Televisión de alta definición (TVAD), y programas audio y de datos, posiblemente con interactividad;
- b) que en el futuro, también es posible que sean los canales adecuados para transmitir programas con mayor velocidad binaria, por ejemplo imágenes de muy alta resolución, cuyo número de líneas es mucho mayor que en TVAD, televisión tridimensional y programas de datos de alta velocidad binaria;
- c) que las atribuciones de frecuencias al SRS en las bandas de 42 GHz y 84 GHz, fueron realizadas en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1979) (CAMR-79), que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) atribuyó la banda 17,3-17,8 GHz en la Región 2 y la banda 21,4-22,0 GHz en las Regiones 1 y 3 al SRS con aplicación a partir del 1 de abril de 2007, y que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) modificó la atribución de frecuencias al SRS, pasando ésta de la banda de 84 GHz a la banda de 74 GHz;
- d) que la absorción atmosférica y la atenuación debida a la lluvia en las bandas del SRS a partir de 17,3 GHz son mucho mayores que en la banda de 12 GHz, ampliamente utilizada por el SRS;
- e) que la atenuación de propagación puede reducir enormemente la disponibilidad del servicio y la fiabilidad del sistema;
- f) que el Informe UIT-R BO.2007 presenta la información técnica necesaria para que el SRS utilice la banda de 17/21 GHz de conformidad con la Resolución 525 (CAMR-92). En los Anexos al Informe se describe en detalle la siguiente información:
 - posibles métodos de codificación y modulación para mejorar la disponibilidad del servicio de radiodifusión digital de TVAD por satélite;
 - un método de control adaptativo de la p.i.r.e. del satélite aplicable a la radiodifusión por satélite en la banda de 21 GHz;
 - esquemas eficaces de codificación y modulación de la anchura de banda para aplicaciones TVAD de banda ancha por satélite y redes de cables,

recomienda

1 que se considere la utilización de una de las siguientes técnicas de reducción de la atenuación debida a la lluvia, o una combinación de ellas, para facilitar la introducción de sistemas del SRS en las bandas de frecuencias entre 17,3 GHz y 42,5 GHz:

- aumento de la p.i.r.e. (véase el Anexo 1);
- transmisión jerárquica (véase el Anexo 2);
- sistema de radiodifusión con almacenamiento en el receptor (véase el Anexo 3).

NOTA 1 – En el Apéndice 1 figura información complementaria sobre la atenuación debida a la lluvia en las bandas del SRS entre 17,3 GHz y 42,5 GHz y posibles bandas para enlaces de conexión entre 17,3 GHz y 30 GHz.

Anexo 1

Aumento de la p.i.r.e.

1 Concepto de satélite de p.i.r.e. variable

El control adaptativo de potencia es un método eficaz y sencillo para mejorar la disponibilidad del servicio cuando hay atenuación debida a la lluvia, y a la vez reduce la interferencia causada a los demás servicios cuando el cielo está despejado.

Normalmente los sistemas del SRS abarcan una zona de servicio amplia con un solo haz. Los sistemas de p.i.r.e. variable se clasifican según permitan o no variar localmente la p.i.r.e. dentro de la zona de servicio.

1.1 p.i.r.e. uniformemente variable

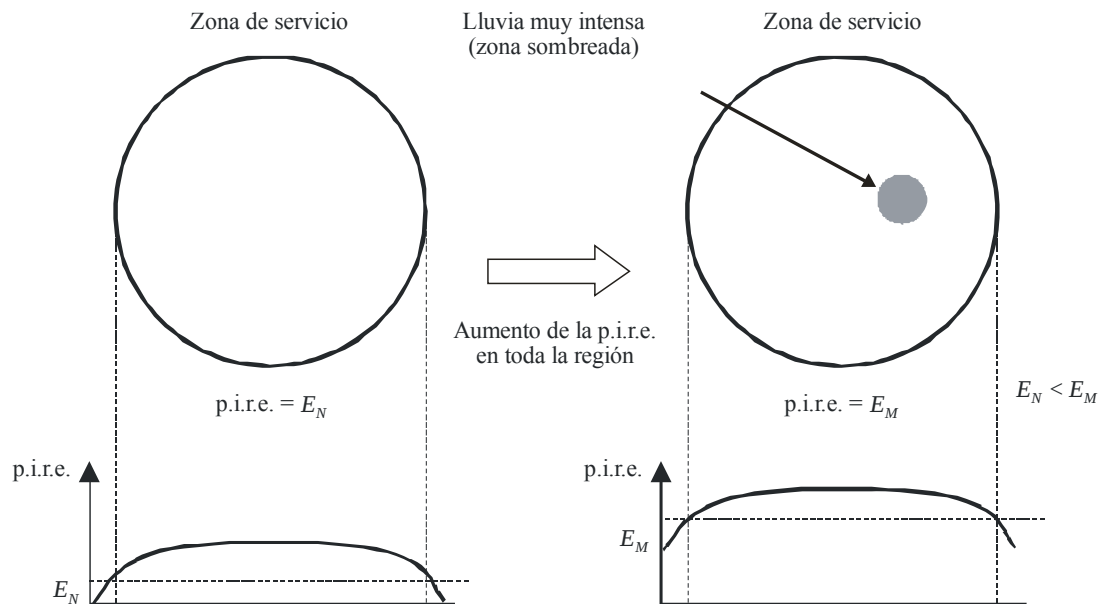
Se controla la potencia total de salida del haz del sistema sin variar el diagrama de radiación de la antena. La p.i.r.e. varía uniformemente en la zona del servicio.

Normalmente, las lluvias intensas se producen localmente. Para compensar la atenuación debida a la lluvia local, se aumenta la p.i.r.e. en toda la zona de cobertura. Salvo la zona con lluvia intensa, el resto de la zona de servicio en condiciones de cielo despejado puede estar sobrecompensado, lo cual no es deseable desde el punto de vista de la compartición con los demás sistemas. A este respecto, el control adaptativo de potencia es menos eficaz en sistemas de un solo haz que en sistemas multihaz.

La potencia de radiación total necesaria es elevada y se produce con frecuencia un aumento de la potencia de radiación ya que un solo haz abarca toda la región. La idea del sistema se muestra en la Fig. 1. Para definir el sistema se utilizan los siguientes parámetros:

- la p.i.r.e. tiene un valor nominal E_N en la zona de servicio;
- la p.i.r.e. tiene un valor máximo de E_M en la zona del servicio. Los valores de p.i.r.e. en cierta zona varían entre E_N y E_M .

FIGURA 1

Concepto de p.i.r.e. uniformemente variable

BO.1659-01

Otra posibilidad consiste en utilizar los siguientes parámetros para definir el sistema desde el punto de vista del diseño del satélite:

- potencia nominal suministrada a la entrada de la antena;
- potencia máxima suministrada a la entrada de la antena;
- contorno de ganancia de antena.

1.2 p.i.r.e. localmente variable

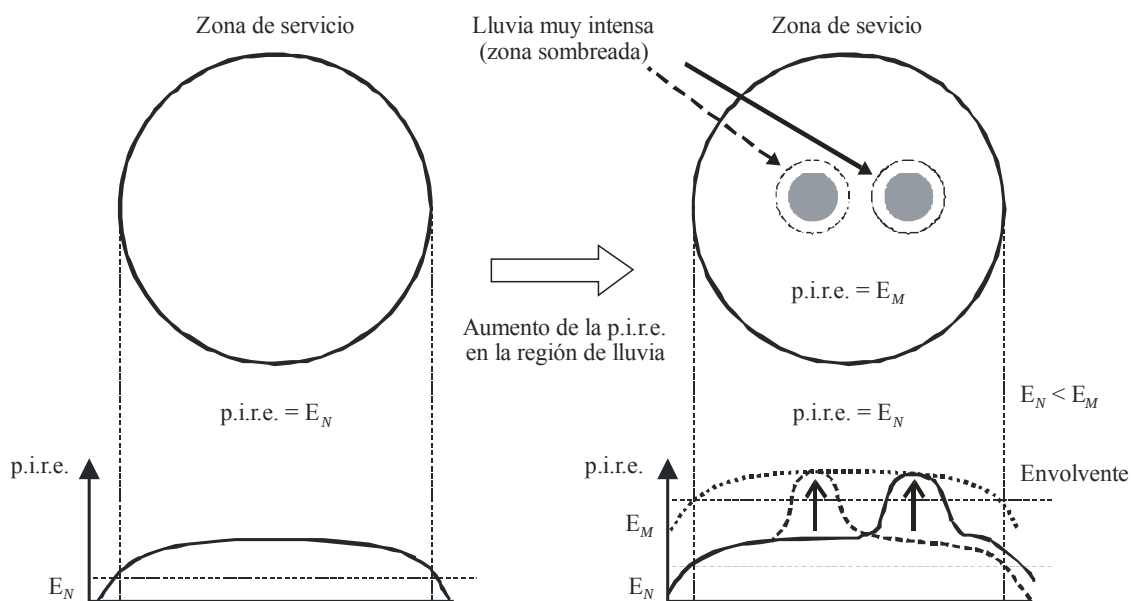
En los sistemas de p.i.r.e. localmente variable varía la distribución de la p.i.r.e. del satélite de un haz dentro de la zona de servicio local, de acuerdo con la distribución local de la atenuación debida a la lluvia. La potencia de radiación total necesaria del satélite es menor que la de un sistema de p.i.r.e. uniformemente variable con la misma disponibilidad del servicio, ya que la probabilidad de que se produzcan simultáneamente lluvias intensas en una gran parte de la zona del servicio se considera muy baja. Por consiguiente, se limitan más estrictamente las emisiones no deseadas.

Aunque puede ser necesaria una p.i.r.e. muy alta para compensar la gran atenuación debida a la lluvia, la zona y la duración de ésta está limitada. Como se puede disminuir la p.i.r.e. para la zona y para la duración con poca atenuación debida a la lluvia, este sistema es mejor en cuanto a la compartición con otros sistemas, que los sistemas de satélites con p.i.r.e. fija o uniformemente variable.

El concepto del sistema se muestra en la Fig. 2. Para definir el sistema se utilizan los siguientes parámetros:

- la p.i.r.e. tiene un valor de E_N en la zona con condición nominal (E_N);
- la p.i.r.e. tiene un valor de E_M en la zona local con incremento máximo de la p.i.r.e. (E_M).

FIGURA 2

Concepto de p.i.r.e. localmente variable

BO.1659-02

Otra posibilidad consiste en utilizar los siguientes parámetros para definir el sistema desde el punto de vista del diseño del satélite:

- potencia nominal suministrada a la entrada de la antena;
- contorno de ganancia de antena;
- potencia máxima suministrada a la entrada de la antena;
- ejemplos de contorno de ganancia de antena con aumento local;
- envoltura de la máxima ganancia de antena con los resultados de todos los posibles cambios de p.i.r.e. intensificada.

2 Tecnologías de satélite

2.1 Tecnologías de satélite para la p.i.r.e. uniformemente variable

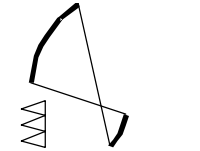
El sistema se puede realizar mediante una combinación de una antena reflectora con un alimentador de bocina y un amplificador de gran potencia (HPA) variable. El HPA de potencia muy elevada se utilizará para aumentar la p.i.r.e. en toda la zona de servicio. Debe estudiarse la repercusión del control de potencia sobre la eficacia del HPA.

2.2 Tecnologías de satélite para p.i.r.e. localmente variable

Para realizar esta función se pueden utilizar las configuraciones de antena de satélite que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Configuraciones de antena para sistemas de p.i.r.e. localmente variable

Tipo de antena	Múltiple bocina	Controlada en fase		
		Reflector sencillo	Doble reflector	Radiación directa
Diagrama esquemático				
Gama de síntesis de diagrama	Ubicación del haz fijo	Ángulo de orientación del haz limitado	Mayor que con un solo reflector	La más grande
Ganancia de cresta	Alta	Menor que con un reflector doble	Menor que con múltiples bocinas	Alta
Disminución de la ganancia con la orientación del haz	Grande	Menor que con múltiples bocinas	Menor que con un solo reflector	Pequeña
Número de elementos	Pequeño	Medio	Medio	Muchas
Complejidad de la estructura	Sencilla	Media	Compleja (subreflector)	Compleja (circuito de alimentación)

2.2.1 Antena multibocina

Se sitúan en la antena múltiples alimentadores de bocina en el plano focal del reflector. Cada bocina corresponde a uno de los haces generados por la antena. Cuando los haces radian en fase, forman un solo haz conformado. Se puede obtener un sistema de p.i.r.e. localmente variable controlando la potencia proporcionada a cada una de las bocinas.

La gama de control de potencia está limitada por la gama de la correspondiente potencia de salida del HPA. La repercusión del control de potencia sobre la eficacia del HPA todavía está por estudiar. Como las ubicaciones de los haces son fijas, la gama de posibles diagramas es inferior a la de las antenas controladas en fase.

2.2.2 Antenas controladas en fase

Mediante las antenas controladas en fase se puede obtener una mayor gama de diagramas que con antenas de múltiples bocinas. La antena controlada en fase con radiación directa presenta la mejor calidad de funcionamiento en cuanto a la gama de posibles diagramas. Por otra parte, la complejidad de la configuración puede reducir su aplicación a los sistemas a bordo.

Al contrario que las antenas de múltiples bocinas, hay muchos elementos de radiación que contribuyen al control de potencia de una pequeña zona. El diámetro mínimo de la zona intensificada se determina mediante el diámetro de abertura de la antena. El rendimiento y fiabilidad de cada configuración se determinará más adelante.

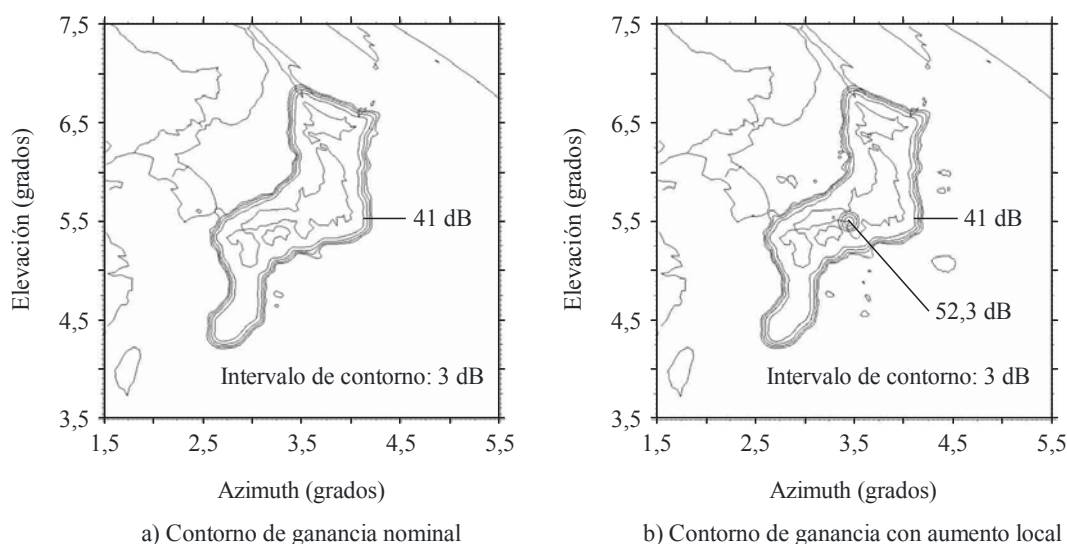
2.2.3 Estudio de caso de síntesis de un diagrama de antena con aumento local

A continuación se da un ejemplo de síntesis de antena para explicar la fiabilidad de los satélites de p.i.r.e. localmente variable. Los parámetros son los siguientes:

- Configuración de la antena: antena con un solo reflector alimentada en fase.
- Diámetro de abertura de la antena: 10 m.
- Frecuencia: 21,7 GHz.
- Número de radiadores: 227.
- Intervalo entre radiadores: 1,5 longitudes de onda.

Los contornos de ganancia de antena calculados se muestran en la Fig. 3. La Figura de la izquierda muestra el diagrama de radiación en régimen nominal. Gracias a la utilización de la antena de gran abertura y a la técnica de control en fase se obtiene un diagrama de radiación con una elevada ganancia plana. La Figura de la derecha es un ejemplo del diagrama de radiación con aumento de ganancia local. La ganancia de cresta es superior en más de 10 dB a su valor nominal. Debido al aumento local, la ganancia en el resto de la zona disminuye ligeramente.

FIGURA 3
Ejemplo de síntesis de diagrama (simulación)



BO.1659-03

Los parámetros de la antena, por ejemplo el diámetro y el número de radiadores, se deben determinar teniendo en cuenta los parámetros del sistema tales como el tamaño, la forma de la zona de servicio, la zona mínima y máxima que se ha de compensar y el aumento necesario, además de la fiabilidad y el coste del equipo a bordo.

2.3 Tecnologías del HPA

Como HPA se pueden utilizar tubos de ondas progresivas (TOP) y amplificadores de potencia de estado sólido (APES). En la banda 17/21 GHz la eficacia total de un TOP convencional con una potencia de salida de unos 100 W es superior al 60%. Por otra parte, la potencia de salida y la eficacia de los APES es inferior a la de los TOP. Para utilizar los TOP como amplificadores para una antena activa controlada en fase de satélites con p.i.r.e. localmente variable, se han estudiado TOP en miniatura con unas dimensiones de las secciones transversales reducidas en comparación con las del dispositivo convencional. En el Cuadro 2 se comparan estos tipos.

CUADRO 2

Ejemplos de HPA para los sistemas de satélites en la banda 17/21 GHz

Tipo de HPA	APES (incluida la fuente de alimentación)	TOP	
		TOP convencional	Mini TOP
Potencia de salida (W)	6	120	10
Eficacia (%)	<10	62	50
Tamaño (mm)	326 × 327 × 36	85 × 63 × 325	15 × 20 × 300
Peso (kg)	4,6	0,9	0,3

Anexo 2**Transmisión jerárquica****1 Concepto de transmisión jerárquica**

Para formar una señal de transmisión jerárquica se multiplexan en el tiempo dos o más esquemas de modulación de requisitos de relación C/N diferentes. La información fundamental, por ejemplo la mínima calidad de la señal de vídeo y de audio, se transmite a una velocidad de datos baja utilizando un esquema robusto de modulación/codificación del canal con un requisito de relación C/N bajo. Por otro lado, la parte de la señal de alta velocidad de datos, por ejemplo TVAD o el sonido panorámico del canal 5.1 se transmite con un esquema de modulación más eficaz y con un requisito de relación C/N mayor. El receptor elige el tren de datos adecuado en función de la condición de relación C/N de recepción real. Por consiguiente, la transmisión jerárquica se puede utilizar para realizar una degradación gradual en el sistema digital de modo que la calidad de la imagen vaya disminuyendo paulatinamente según se reduce el valor de la relación C/N en recepción.

En las bandas del SRS por encima de 17,3 GHz, la atenuación debida a la lluvia es considerablemente mayor que en la banda 12 GHz. Al aplicar la transmisión jerárquica, se pueden reducir las interrupciones del servicio causadas por la atenuación debida a la lluvia. En el Anexo 1 al Informe UIT-R BO.2007 se describe detalladamente la transmisión jerárquica.

El esquema de transmisión jerárquica se puede integrar con las demás técnicas. Por ejemplo, utilizando el esquema de transmisión jerárquica se puede transmitir simultáneamente distintos tipos de servicio tales como la radiodifusión en tiempo no real con almacenamiento en recepción, que se describe en el Anexo 3, y la radiodifusión en tiempo real ordinaria. En este esquema, se pueden multiplexar en el tiempo las señales de modulación multiniveles de MDP-2, MDP-4 y MDP-8.

Así mismo, el sistema de transmisión jerárquica puede integrarse con tecnología de codificación de vídeo escalable (SVC). La tecnología SVC genera un tren elemental de vídeo con las capas de base y de mejora. Los datos de vídeo codificado escalable son procesados por un esquema de codificación y modulación variable (VCM). Con la VCM, los datos de baja calidad (capa de base) pueden transmitirse por medio de un esquema de modulación más robusto que los datos de alta calidad (capa de mejora). Por lo tanto, con cielo despejado, pueden recibirse tanto la capa de base como la de mejora, lo cual permite suministrar servicios de AD. Por el contrario, en condiciones de atenuación debida a la lluvia, para servicios de vídeo de baja calidad sólo puede recibirse la capa de base.

2 Ejemplo de transmisión jerárquica

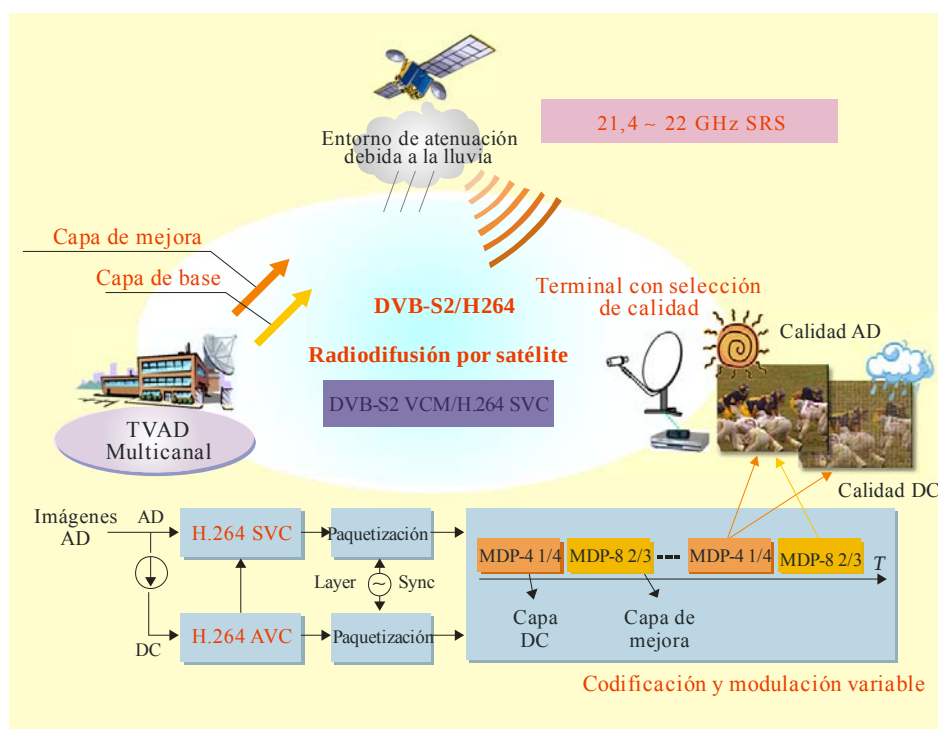
2.1 Transmisión jerárquica basada en un esquema de modulación

En la Recomendación UIT-R BO.1516 – Sistemas de televisión digital multiprograma para utilización por satélites que funcionan en la gama de frecuencias 11/12 GHz, figura un ejemplo de transmisión jerárquica. En el Sistema D se puede multiplexar en el tiempo más de una señal de transmisión con MDP-2, MDP-4 y MDP-8 con codificación reticular. En este sistema se considera que la ganancia máxima de la transmisión jerárquica es la diferencia de 8,2 dB en la relación C/N necesaria entre MDP-2 1/2 y MDP-8 con codificación reticular.

2.2 Transmisión jerárquica basada en tecnología de codificación de vídeo escalable

La Fig. 4 ilustra el concepto de transmisión jerárquica de servicios de radiodifusión de AD por satélite en la banda de frecuencia 21 GHz. Los datos de vídeo de codificación escalable se transmiten por medio de VCM. Por ejemplo, los datos de baja calidad se modulan por MDP-4, mientras que los datos de alta calidad se modulan por MDP-8. Por consecuencia, puede mejorarse la disponibilidad de enlaces. Este servicio, que permite la selección de la calidad, puede lograrse mediante una estructura de capas tanto en el nivel de fuente de medios como en el de transmisión.

FIGURA 4
Transmisión jerárquica basada en tecnología SVC



Anexo 3

Sistema de radiodifusión con almacenamiento en el receptor

1 Concepto de sistema de radiodifusión en tiempo no real con almacenamiento en el receptor

Con el aumento de la capacidad y la reducción del precio de los dispositivos de almacenamiento, por ejemplo discos duros, han empezado a aparecer en el mercado receptores con dispositivos de almacenamiento. Se han llevado a cabo diversos estudios para aprovechar las posibilidades que ofrecen las funciones de almacenamiento en los servicios de radiodifusión

En términos estadísticos, la lluvia intensa capaz de producir interrupción de la señal se produce únicamente durante un breve instante en el día. Mediante el almacenamiento, es posible transmitir programas por anticipado y almacenarlos en el receptor para evitar interrupciones del servicio durante la presentación.

Suponiendo la recepción con almacenamiento, es inevitable un gran retardo de transmisión. Dicho retardo dependerá del esquema que se adopte y de la capacidad de superar interrupciones de la señal. Es posible que para los programas en tiempo real, por ejemplo noticias en directo, no sea adecuado el almacenamiento en los sistemas.

Se necesitan más estudios sobre la disponibilidad del servicio en la radiodifusión en tiempo no real.

2 Métodos de ejemplo

2.1 Transmisión repetitiva

Un ejemplo de esquema de transmisión del SRS que utiliza almacenamiento para mejorar la disponibilidad del servicio es la transmisión repetitiva, que consiste en transmitir los programas repetidamente para almacenar los datos correctos y evitar así las consecuencias derivadas de la interrupción del enlace por la atenuación debida a la lluvia.

Dado que cuando el cielo está despejado es posible obtener una relación C/N alta, la reducción de la eficacia debido a la transmisión repetitiva se puede compensar empleando técnicas de modulación de gran eficacia en cuanto a la utilización de frecuencias, por ejemplo MAQ-16. Los parámetros del sistema, tales como el número de repeticiones adecuado, el intervalo y el esquema de modulación, serán objeto de un estudio ulterior.

2.2 Intercalado de datos en bloques de gran longitud

Se puede utilizar el intercalado en intervalos muy largos para superar las interrupciones de la señal recibida que pueden aparecer durante un tiempo relativamente breve en el intervalo.

Los datos del programa se esparcen (es decir, se intercalan) a lo largo de un gran intervalo en el lado de transmisión. En primer lugar, el receptor guarda la señal transmitida en el dispositivo de almacenamiento y posteriormente la utiliza para reconstruir (es decir, desintercalar) el programa original. Aun cuando se pierda una parte de los datos transmitidos a causa de la atenuación debida a la lluvia, los datos del programa se pueden reconstruir mediante un código de corrección de errores, dado que los datos continuos perdidos son dispersados en el receptor por el dispositivo de desintercalado.

Los parámetros del sistema, tales como la longitud de intercalado adecuada y el tipo de modulación, serán objeto de un estudio ulterior.

2.2.1 Ejemplo de sistema de intercalado de datos en bloques de gran longitud

Con objeto de comprobar la validez del esquema se llevó a cabo una simulación de intercalado de datos en bloques de gran longitud utilizando para ello datos reales de la atenuación debida a la lluvia medidos a lo largo de un año. En la Fig. 5 se muestra un diagrama esquemático de la simulación. En la parte derecha del diagrama aparece un sistema digital convencional del SRS que realiza la corrección de errores mediante el código externo 1 y el código interno. La parte izquierda del diagrama es un bloque adicional para el intercalado de datos en bloques de gran longitud y consta de dispositivos de almacenamiento en masa y un codificador y decodificador de corrección de errores (código externo 2). Los parámetros que se utilizaron en la simulación fueron los siguientes:

- Ubicación de la recepción: Tokio (zona climática K).
- Datos utilizados de atenuación debida a la lluvia: mediciones realizadas entre mayo de 2000 y abril de 2001 en la banda de 12 GHz, convertidos a datos en la banda de 21 GHz mediante la fórmula de cambio de escala de frecuencia que figura en la Recomendación UIT-R P.618.
- Modulación: MDP-8 con codificación reticular.
- dfp del satélite: $-114,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$.

La calidad de funcionamiento del intercalado de datos en bloques de gran longitud se evaluó considerando el aumento de p.i.r.e., que se define como la p.i.r.e. del sistema convencional del SRS sin intercalado de datos en bloques de gran longitud que presenta la misma disponibilidad de servicio que la obtenida mediante la simulación con intercalado de datos en bloques de gran longitud.

El aumento de la p.i.r.e. en función del periodo de intercalado se muestra en la Fig. 6, en la cual la capacidad de corrección de errores del código externo 2 se fijó al 20% o al 40%. La p.i.r.e. aumenta con el periodo de intercalado, así como con el incremento de la capacidad de almacenamiento y del retardo de transmisión. Cuanto mayor sea la capacidad de corrección de errores del código externo 2, más aumenta la p.i.r.e. produciéndose una disminución en la velocidad de transmisión de la información. Por ejemplo, suponiendo una capacidad de corrección de errores del 20%, el aumento del periodo de intercalado de 1 h a 12 ó 24 h equivale a aumentar la p.i.r.e. en 2,4 ó 6,2 dB, respectivamente.

FIGURA 5

Diagrama esquemático de la simulación

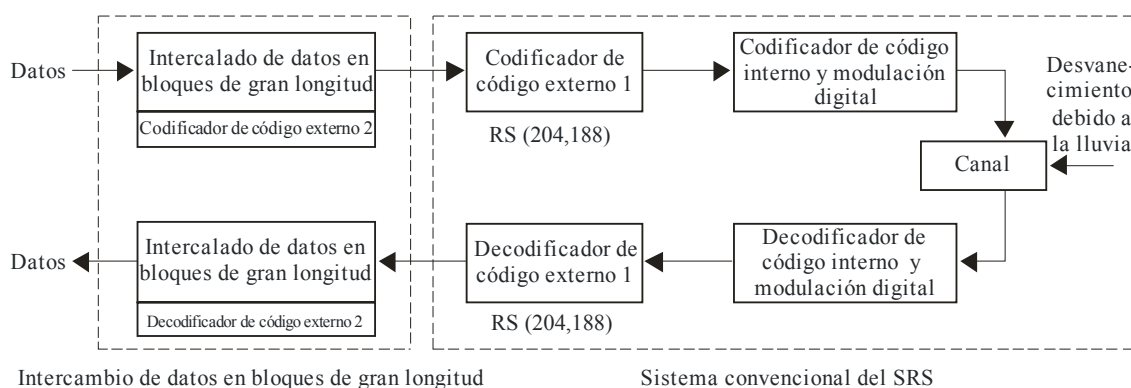
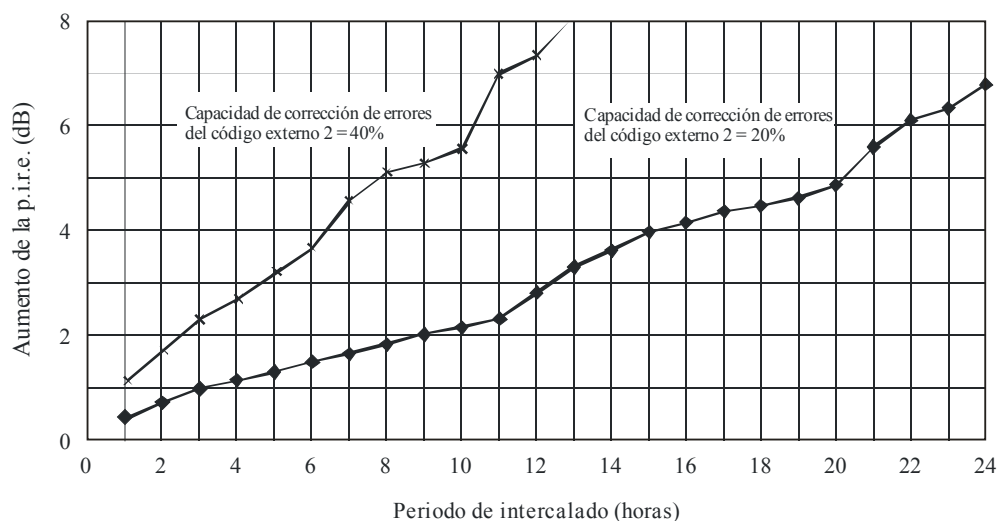


FIGURA 6

Ejemplo de calidad de funcionamiento del intercalado de datos en bloques de gran longitud expresada como aumento de la dpf equivalente (simulación)



BO.1659-06

La simulación se basó en los datos medidos durante un año en una ubicación concreta. Se observarían efectos diferentes si los datos correspondieran a otra ubicación, el satélite tuviera una dpf distinta o se tratara de un plazo mayor. Los parámetros se deben elegir cuidadosamente en función de los requisitos del sistema.

Apéndice 1 al Anexo 3

Atenuación debida a la lluvia y absorción causada por los gases atmosféricos en las bandas del SRS comprendidas entre 17,3 GHz y 42,5 GHz y en algunos enlaces de conexión asociados

1 Introducción

Una característica importante de las bandas del SRS comprendidas entre 17,3 GHz y 42,5 GHz es la mayor atenuación de propagación comparada con la que se produce en la banda de 12 GHz. En estas bandas de alta frecuencia, el ángulo de elevación es un factor crítico para la atenuación debida a la lluvia y para la absorción atmosférica. Las técnicas de reducción de la atenuación y la absorción se eligen en función de las pérdidas de propagación que deben superarse. En este Apéndice se hace una primera evaluación de las pérdidas de propagación en función de la frecuencia y de la ubicación de las estaciones terrenas.

Las ciudades mencionadas en los Cuadros del Apéndice 1 del Anexo 3 de la presente Recomendación se han seleccionado únicamente como ejemplo.

2 Parámetros de cálculo

Para el cálculo se utilizan las siguientes Recomendaciones:

- Altura de la estación receptora: Recomendación UIT-R P.1511 (base de datos).
- Temperatura media anual de la superficie: Recomendación UIT-R P.1510 (base de datos).
- Densidad de vapor de agua en la superficie (1% del año): Recomendación UIT-R P.836 (base de datos).
- Modelo de atenuación debida a gases atmosféricos: Recomendación UIT-R P.676.
- Atenuación debida a las nubes: Recomendación UIT-R P.840.
- Modelo de intensidad de lluvia: Recomendación UIT-R P.837 (base de datos).
- Atenuación específica: Recomendación UIT-R P.838.
- Modelo de altura de la lluvia: Recomendación UIT-R P.839 (base de datos).
- Modelo de atenuación debida a la lluvia: Recomendación UIT-R P.618.
- Posición orbital del satélite: se supone que coincide con las de los Planes del SRS en 12 GHz para las Regiones 1, 2 y 3 (véase el Apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

3 Atenuación debida a la lluvia y absorción gaseosa en las bandas del enlace descendente del SRS

Se comparó la atenuación debida a la lluvia y absorción gaseosa de estas bandas con respecto a la banda de 12 GHz para varias ciudades de las Regiones 1, 2 y 3.

El oxígeno y el vapor de agua en la atmósfera causan absorción, y la densidad de vapor de agua no es constante a lo largo del año. Para calcular la absorción gaseosa, en este estudio se utilizaron los valores rebasados durante el 1% del año que se obtuvieron de la base de datos de la UIT.

Como se muestra en los Cuadros 3 y 4, la absorción gaseosa toma un valor comprendido entre 1,2 y 2,0 dB a 21,7 GHz y un valor de unos 0,2 dB a 12,0 GHz. La atenuación debida a la lluvia a 21,7 GHz es aproximadamente cuatro veces mayor que la correspondiente a 12,0 GHz, en decibelios.

CUADRO 3

Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia en algunas ciudades de la Región 1

		Moscú		Londres		París		Estambul	
Longitud/latitud (grados)		37,6 E/55,8 N		0,1 E/51,5 N		2,3 E/48,9 N		29,0 E/41,0 N	
Posición orbital del satélite (grados)		36,0 E		33,5 W		7,0 W		42,0 E	
Ángulo de elevación (grados)		26,5		23,2		33,2		40,7	
$R_{0,01}$ (mm/h)		31,7		30,8		34,0		38,8	
	Porcentaje de tiempo anual	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz
Absorción atmosférica	—	0,2 dB	2,0 dB	0,2 dB	2,0 dB	0,2 dB	1,6 dB	0,1 dB	1,5 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	1,0 dB	3,4 dB	1,0 dB	3,4 dB	0,9 dB	3,1 dB	1,0 dB	3,5 dB
	0,1%	1,9 dB	6,4 dB	1,9 dB	6,3 dB	1,7 dB	5,8 dB	1,9 dB	6,5 dB

CUADRO 4

Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia en algunas ciudades de la Región 3

		Tokio		Kuala Lumpur		Seúl		Bangkok	
Longitud/latitud (grados)		139,8 E/35,7 N		101,7 E/3,2 N		127 E/37,6 N		100,5 E/13,8 N	
Posición orbital del satélite (grados)		110,0 E		91,5 E		116,0 E		98,0 E	
Ángulo de elevación (grados)		38,0		77,4		44,9		73,5	
$R_{0,01}$ (mm/h)		48,0		93,9		50,6		86,7	
	Porcentaje de tiempo anual	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz
Absorción atmosférica	—	0,2 dB	1,9 dB	0,1 dB	1,2 dB	0,2 dB	1,8 dB	0,1 dB	1,4 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	1,5 dB	5,5 dB	3,7 dB	14,7 dB	1,4 dB	5,2 dB	3,0 dB	12,2 dB
	0,1%	2,8 dB	10,0 dB	6,6 dB	24,7 dB	2,7 dB	9,4 dB	5,5 dB	20,9 dB

En el Cuadro 5 se comparan las pérdidas de propagación a 17,5 GHz con las correspondientes a 12,5 GHz para ciudades de la Región 2. Las atenuaciones debidas a la lluvia a 17,5 GHz son unas 2,5 veces mayores que las de 12,5 GHz, en decibelios.

CUADRO 5

**Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia
en algunas ciudades de la Región 2**

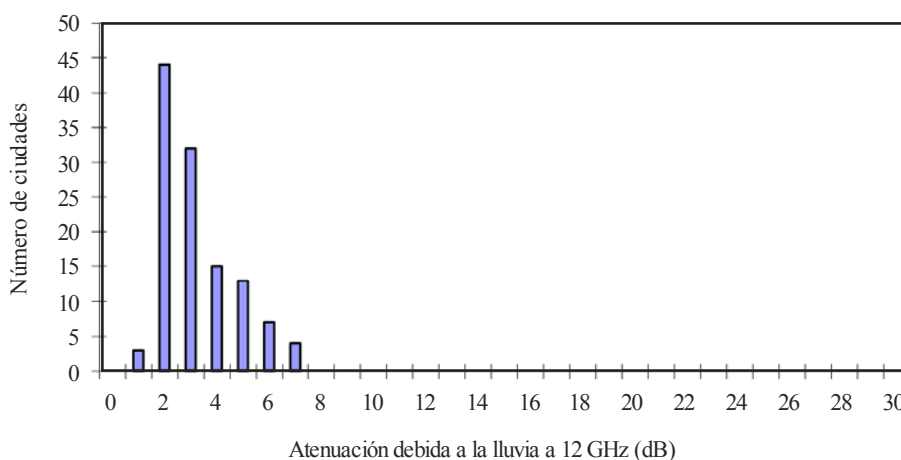
		Miami		Río de Janeiro	
Longitud/latitud (grados)		80,2 W/25,8 N		43,2 W/22,9 S	
Ángulo de elevación (grados)		51,8		63,1	
Posición orbital del satélite (grados)		101,2 W		45,2 W	
$R_{0,01}$ (mm/h)		89,1		56,5	
	Porcentaje de tiempo anual	12,5 GHz	17,5 GHz	12,5 GHz	17,5 GHz
Absorción atmosférica	—	0,1 dB	0,4 dB	0,1 dB	0,3 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	2,7 dB	5,8 dB	2,0 dB	4,4 dB
	0,1%	4,9 dB	10,4 dB	3,7 dB	7,9 dB

Las atenuaciones debidas a la lluvia en la banda 12 GHz y en las bandas 17/21 GHz se calcularon en las capitales de todos los países miembros de la UIT para un 0,1% y un 0,3% del tiempo de un año medio. Los resultados se muestran en las Figs. 7, 8 y 9 en forma de histogramas para cada Región. En comparación con la Región 1, a 21,7 GHz, la atenuación debida a la lluvia en las capitales de la Región 3 se distribuye en una gama más amplia.

La banda 40,5-42,5 GHz está atribuida al SRS en las tres Regiones. La absorción atmosférica y la atenuación debida a la lluvia a 41,5 GHz se muestran en los Cuadros 6, 7 y 8. La atenuación debida a la lluvia en la banda de 42 GHz es considerablemente superior a la de la banda de 17/21 GHz.

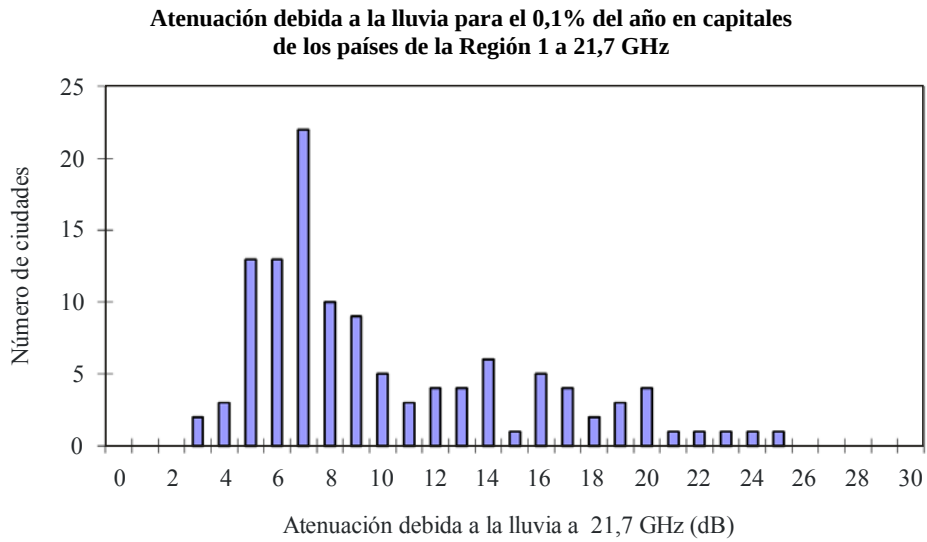
FIGURA 7a

**Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales
de los países de la Región 1 a 12 GHz**



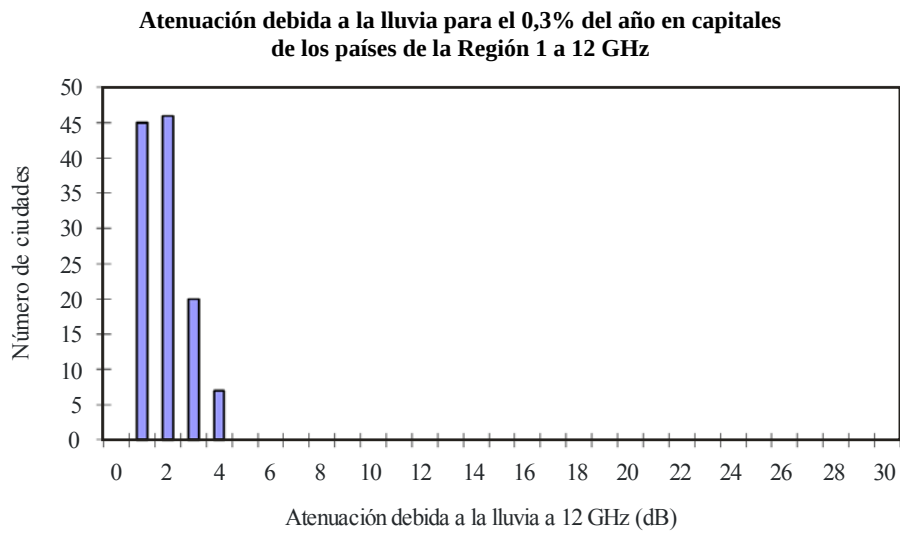
BO.1659-07a

FIGURA 7b



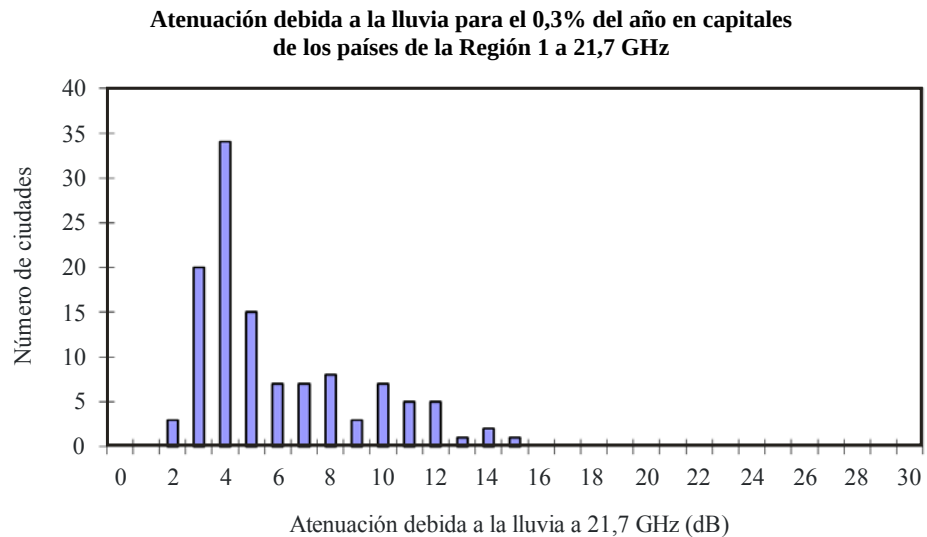
BO.1659-07b

FIGURA 7c



BO.1659-07c

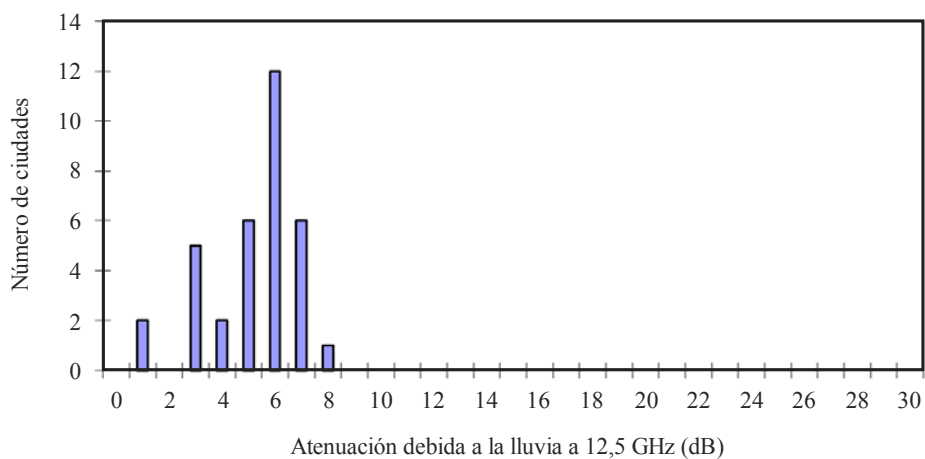
FIGURA 7d



BO.1659-07d

FIGURA 8a

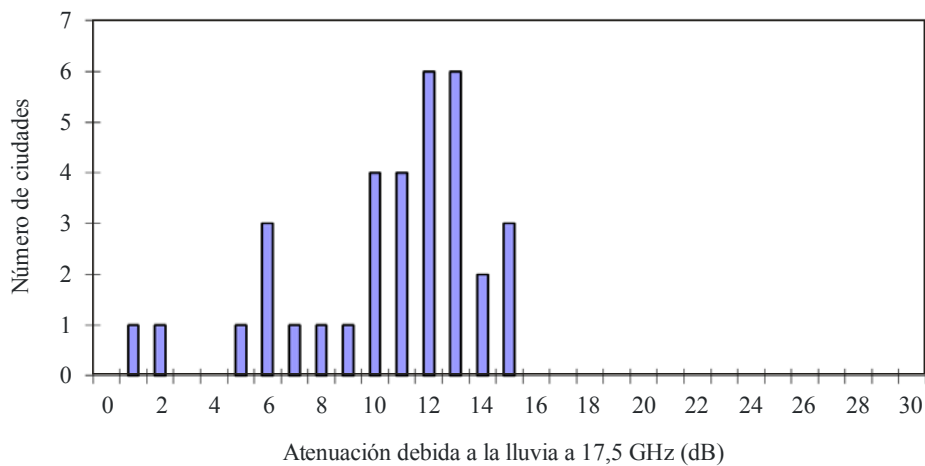
**Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales
de los países de la Región 2 a 12,5 GHz**



BO.1659-08a

FIGURA 8b

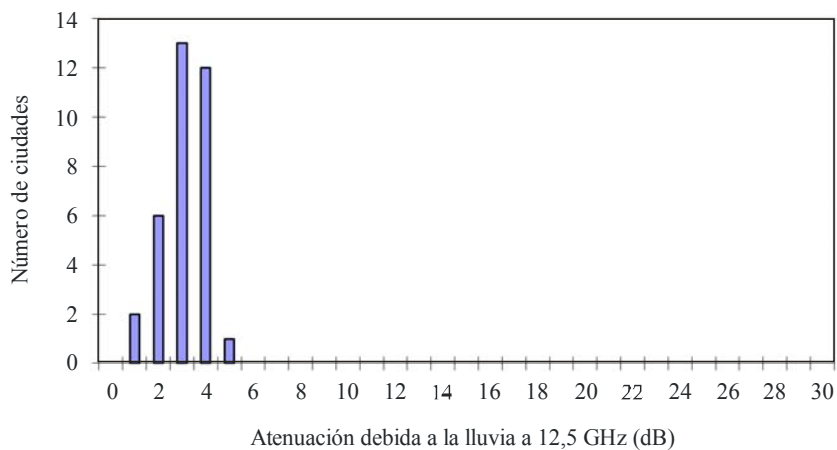
**Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales
de los países de la Región 2 a 17,5 GHz**



BO.1659-08b

FIGURA 8c

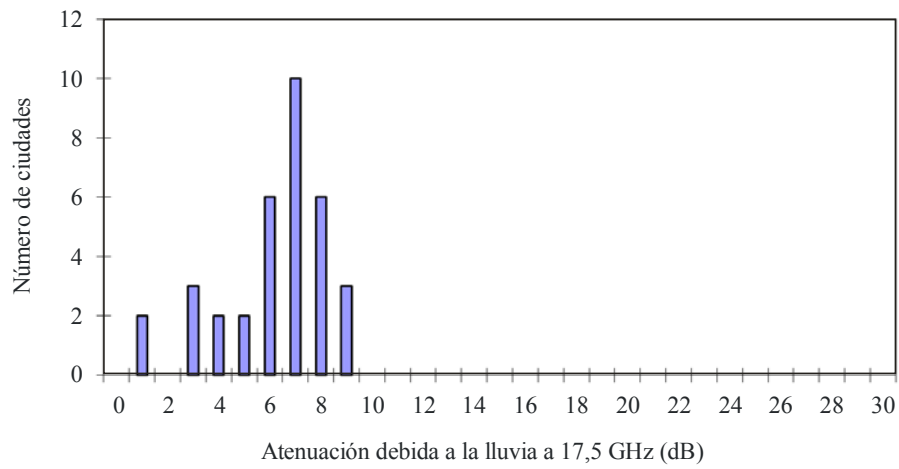
**Atenuación debida a la lluvia para el 0,3% del año en capitales
de los países de la Región 2 a 12,5 GHz**



BO.1659-08c

FIGURA 8d

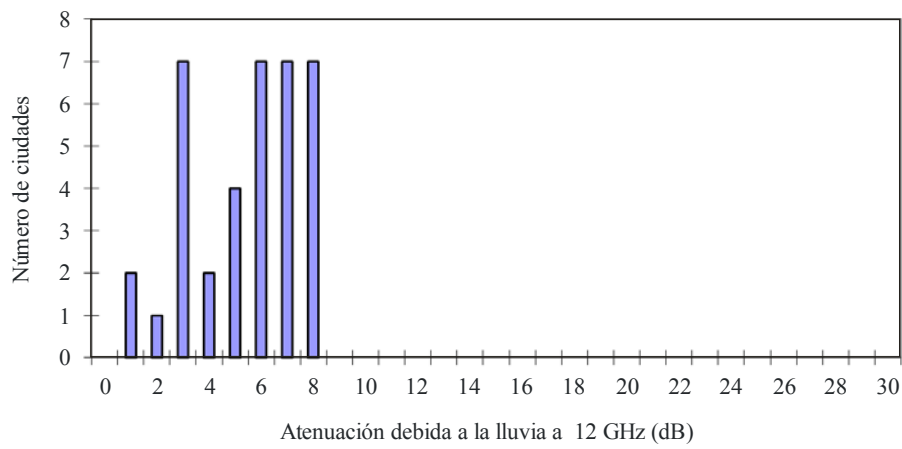
**Atenuación debida a la lluvia para el 0,3% del año en capitales
de los países de la Región 2 a 17,5 GHz**



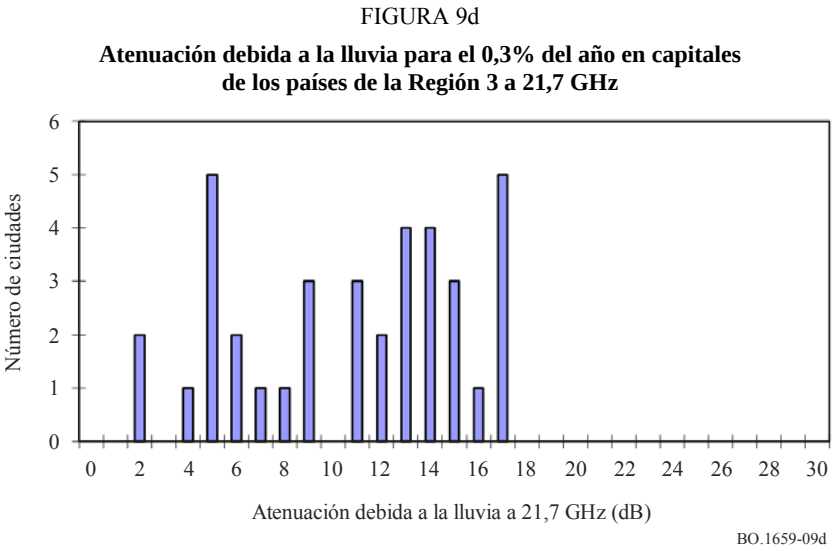
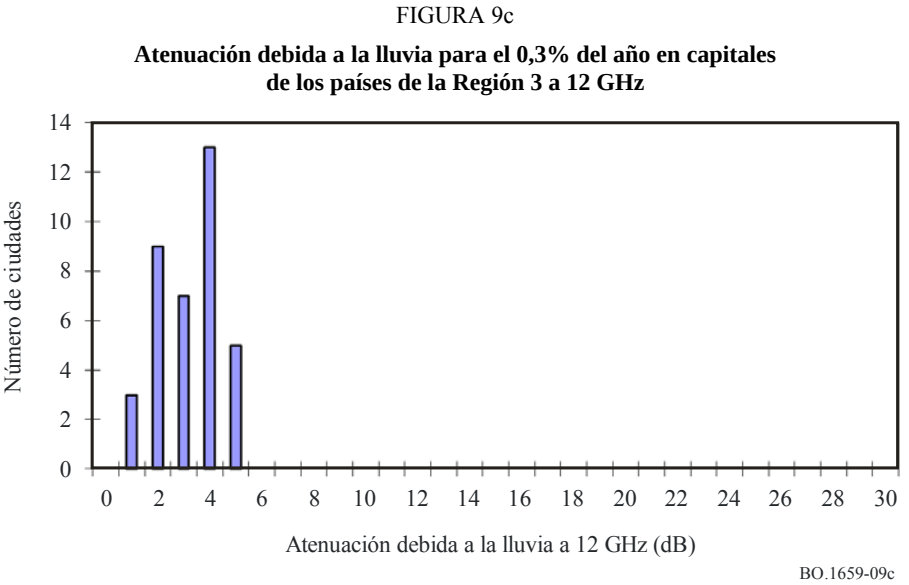
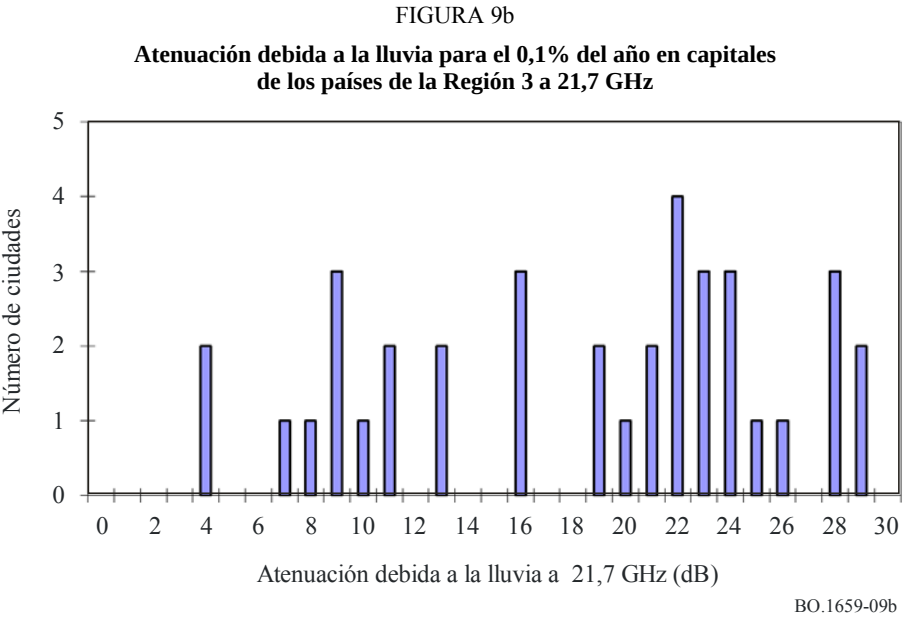
BO.1659-08d

FIGURA 9a

**Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales
de los países de la Región 3 a 12 GHz**



BO.1659-09a



CUADRO 6

**Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia
en algunas ciudades de la Región 1 a 41,5 GHz**

	Porcentaje de tiempo anual	Moscú	Londres	París	Estambul
		41,5 GHz			
Absorción atmosférica	–	1,7 dB	1,7 dB	1,3 dB	1,2 dB
Atenuación debida a la lluvia	3,0%	2,4 dB	2,3 dB	2,1 dB	2,5 dB
	1,0%	4,9 dB	4,8 dB	4,5 dB	5,2 dB
	0,3%	10,1 dB	9,9 dB	9,2 dB	10,6 dB
	0,1%	17,9 dB	17,6 dB	16,4 dB	18,7 dB

CUADRO 7

**Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia
en algunas ciudades de la Región 2 a 41,5 GHz**

	Porcentaje de tiempo anual	Miami	Río de Janeiro
		41,5 GHz	
Absorción atmosférica	–	1,1 dB	1,0 dB
Atenuación debida a la lluvia	3,0%	6,2 dB	4,6 dB
	1,0%	12,5 dB	9,4 dB
	0,3%	27,0 dB	21,6 dB
	0,1%	45,4 dB	36,5 dB

CUADRO 8

**Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia
en algunas ciudades de la Región 3 a 41,5 GHz**

	Porcentaje de tiempo anual	Tokio	Kuala Lumpur	Seúl	Bangkok
		41,5 GHz			
Absorción atmosférica	–	1,4 dB	0,9 dB	1,3 dB	1,0 dB
Atenuación debida a la lluvia	3,0%	4,0 dB	8,0 dB	3,8 dB	7,6 dB
	1,0%	8,1 dB	15,9 dB	7,7 dB	15,2 dB
	0,3%	16,3 dB	45,2 dB	15,5 dB	38,1 dB
	0,1%	28,3 dB	72,6 dB	26,9 dB	62,2 dB

4 Atenuación debida a la lluvia y absorción gaseosa en las bandas de enlaces de conexión del SRS

Se llevó a cabo un cálculo similar para las bandas de 18 y 28 GHz, que son las propuestas para enlaces de conexión en todas las Regiones, así como para la banda de 25 GHz, que es otra posible candidata para las Regiones 2 y 3. Los resultados se muestran en los Cuadros 9, 10 y 11.

CUADRO 9

Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia en algunas ciudades de la Región 1

	Porcentaje de tiempo anual	Moscú		Londres	
		18,1 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	27,8 GHz
Absorción atmosférica	—	0,6 dB	1,1 dB	0,6 dB	1,1 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	2,4 dB	5,4 dB	2,4 dB	5,3 dB
	0,1%	4,5 dB	9,8 dB	4,5 dB	9,7 dB
		París		Estambul	
		18,1 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	27,8 GHz
Absorción atmosférica	—	0,5 dB	0,9 dB	0,4 dB	0,8 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	2,2 dB	4,9 dB	2,5 dB	5,6 dB
	0,1%	4,1 dB	9,0 dB	4,6 dB	10,2 dB

CUADRO 10

Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia en algunas ciudades de la Región 2

	Porcentaje de tiempo anual	Miami			Río de Janeiro		
		18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz
Absorción atmosférica	—	0,5 dB	1,1 dB	0,8 dB	0,4 dB	1,0 dB	0,7 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	6,2 dB	12,0 dB	14,6 dB	4,7 dB	9,2 dB	11,3 dB
	0,1%	11,1 dB	20,9 dB	25,1 dB	8,5 dB	16,2 dB	19,6 dB

CUADRO 11

**Absorción gaseosa atmosférica y atenuación debida a la lluvia
en algunas ciudades de la Región 3**

	Porcentaje de tiempo anual	Tokio			Kuala Lumpur		
		18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz
Absorción atmosférica	—	0,5 dB	1,4 dB	1,0 dB	0,3 dB	0,9 dB	0,6 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	3,8 dB	7,2 dB	8,7 dB	9,9 dB	19,6 dB	24,0 dB
	0,1%	7,0 dB	12,9 dB	15,5 dB	17,0 dB	32,6 dB	39,5 dB
		Seúl			Bangkok		
		18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz
Absorción atmosférica	—	0,5 dB	1,3 dB	0,9 dB	0,4 dB	1,0 dB	0,7 dB
Atenuación debida a la lluvia	0,3%	3,6 dB	6,8 dB	8,3 dB	8,2 dB	16,3 dB	20,0 dB
	0,1%	6,6 dB	12,2 dB	14,8 dB	14,3 dB	27,6 dB	33,5 dB

5 Disponibilidad de servicio del enlace descendente en la banda 21 GHz

La disponibilidad del servicio del sistema del SRS se calculó tomando como hipótesis que la dfp estaba fijada al valor de coordinación y que el diámetro de la antena receptora era de 45 cm. Los posibles tipos de modulación que se utilizarán en el sistema son MDP-4, MDP-8 y MAQ-16. La relación C/N necesaria para el sistema varía en función de la modulación y la codificación que se emplee y supone una solución de compromiso entre la disponibilidad del servicio y la eficacia en la utilización de frecuencias.

Los porcentajes de tiempo de un año medio en los que la relación C/N rebasa los valores de 5,6 dB, 7,5 dB, 10,7 dB y 17,0 dB se muestran con un ejemplo de dfp igual a $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$, $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ y $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ en el Cuadro 12 e igual a $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ en el Cuadro 13.

En balance del enlace incluye la atenuación debida a la lluvia, la atenuación debida a las nubes, la atenuación debida a los gases, el centelleo y las pérdidas de puntería de la antena.

CUADRO 12

**Disponibilidad del servicio del enlace descendente del SRS en la banda de 21 GHz
en algunas ciudades de la Región 1, en porcentaje de tiempo anual**

		Moscú			Londres		
Ángulo de elevación (grados)		26,5			23,2		
dfp (dB(W/(m ² · MHz)))		−105,0	−115,0	−120,0	−105,0	−115,0	−120,0
C/N total	5,6 dB	99,99%	99,96%	99,89%	99,99%	99,97%	99,90%
	7,5 dB	99,99%	99,95%	99,81%	99,99%	99,95%	99,84%
	10,7 dB	99,98%	99,89%	99,38%	99,99%	99,90%	99,53%
	17,0 dB	99,93%	98,48%	NA ⁽¹⁾	99,92%	99,04%	NA ⁽¹⁾
R _{0,01} (mm/h)		31,7			30,9		
Atenuación debida a la lluvia ⁽²⁾ (dB)		6,5			6,6		
		Pretoria			Estambul		
Ángulo de elevación (grados)		59,9			40,7		
dfp (dB(W/(m ² · MHz)))		−105,0	−115,0	−120,0	−105,0	−115,0	−120,0
C/N total	5,6 dB	99,97%	99,87%	99,69%	99,99%	99,96%	99,88%
	7,5 dB	99,97%	99,84%	99,50%	99,99%	99,94%	99,79%
	10,7 dB	99,95%	99,67%	98,63%	99,98%	99,88%	99,30%
	17,0 dB	99,82%	95,80%	NA ⁽¹⁾	99,94%	98,35%	NA ⁽¹⁾
R _{0,01} (mm/h)		31,8			38,9		
Atenuación debida a la lluvia ⁽²⁾ (dB)		5,8			6,7		
		Alejandría					
Ángulo de elevación (grados)		35,8					
dfp (dB(W/(m ² · MHz)))		−105,0	−115,0	−120,0			
C/N total	5,6 dB	99,99%	99,99%	99,99%			
	7,5 dB	99,99%	99,99%	99,99%			
	10,7 dB	99,99%	99,99%	99,94%			
	17,0 dB	99,99%	99,60%	NA ⁽¹⁾			
R _{0,01} (mm/h)		5,4					
Atenuación debida a la lluvia ⁽²⁾ (dB)		1,4					

⁽¹⁾ NA: No aplicable porque el nivel de dfp no permite alcanzar el nivel requerido de C/N.

⁽²⁾ Atenuación debido a la lluvia calculada para el 99,9% del año.

NOTA – Las ubicaciones presentadas en el Cuadro 12 son meros ejemplos de la disponibilidad del servicio en la Región 1. La disponibilidad del servicio depende del ángulo de elevación y de la ubicación dentro de la Región 1. Por tanto, también puede emplearse un valor de dfp inferior a -120 dB(W/(m² · MHz)) en aquellas zonas donde la atenuación debida a la lluvia es inferior a la que se indica en el Cuadro 12.

CUADRO 13

**Disponibilidad del servicio del enlace descendente del SRS en la banda de 21 GHz
en algunas ciudades de la Región 3, en porcentaje de tiempo anual**

		Tokio	Kuala Lumpur	Seúl	Bangkok	Wellington
Ángulo de elevación (grados)		38,0	77,4	44,9	73,5	42,3
dfp (dB(W/(m ² · MHz)))		−105,0	−105,0	−105,0	−105,0	−105,0
C/N total	7,5 dB	99,98%	99,81%	99,98%	99,88%	99,99%
	10,7 dB	99,97%	99,77%	99,97%	99,85%	99,99%
	17,0 dB	99,95%	99,68%	99,95%	99,78%	99,99%
	17,0 dB	99,80%	99,36%	99,83%	99,44%	99,94%
R _{0,01} (mm/h)		48,0	93,6	50,6	87,1	41,7
Atenuación debida a la lluvia ⁽¹⁾ (dB)		10,0	26,3	14,2	21,5	6,4

⁽¹⁾ Atenuación debido a la lluvia calculada para el 99,9% del año.

NOTA – Las ciudades mencionadas en el Cuadro 13 son meros ejemplos de la disponibilidad del servicio en la Región 3. La disponibilidad del servicio depende del ángulo de elevación y de la ubicación dentro de la Región 3.

Para utilizar totalmente la banda de frecuencias, en los futuros sistemas del SRS se utilizarán los tipos de modulación más eficaces en frecuencia, por ejemplo MAQ-16. La relación C/N requerida del tipo de modulación es, no obstante, mayor que en el caso de MDP-8 con codificación reticular. Además, es sensible a la no linealidad de los transpondedores del satélite. Provisionalmente, se supone una relación C/N requerida de 17,0 dB.

En el SRS que utiliza la banda de 21 GHz, se debe compensar el desvanecimiento debido a la lluvia de mucha más intensidad para lograr una disponibilidad del servicio similar a la de la banda de 12 GHz. En el diseño de satélites convencionales, la p.i.r.e. se determina considerando la atenuación como un margen. Por consiguiente, el sistema requiere satélites de escala excesivamente grande y una dfp en cielo despejado, de valor elevado, lo cual puede considerarse poco económico. Así pues, para implantar un SRS con un sistema de satélites asequible en una zona determinada, son necesarias medidas eficaces para compensar la atenuación debida a la lluvia.

La disponibilidad anual del servicio del enlace descendente de la banda de 21 GHz del SRS indicada en el Cuadro 12 para algunas ciudades de la Región 1 a modo de ejemplo es considerablemente superior a la disponibilidad anual del servicio del Plan para 12 GHz del Apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones, es decir, el 99% del mes más desfavorable, equivalente a una disponibilidad anual del servicio del 99,7%. En base a los objetivos del operador del satélite y al área de servicios concernida, si el nivel de disponibilidad con una densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre de −105 dB(W/(m² · MHz)) es muy superior a la disponibilidad esperada, podría contemplarse la posibilidad de reducir la densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre producida por las emisiones de las estaciones espaciales para conseguir la disponibilidad requerida. Dicha reducción de potencia podría tener consecuencias directas sobre el diseño del satélite (es decir, más transpondedores operacionales con la misma envolvente de consumo de potencia) o sobre los costes asociados (es decir, reducción del consumo total de potencia que tiene repercusión directa sobre el coste del satélite).

Para la Región 1, con respecto a una reducción de la densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre:

- 1) Para una dfp de $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ (es decir, reducción de 10 dB), la disponibilidad anual del servicio para la relación C/N de 7,5 y 10,7 dB en algunas ciudades de ejemplo de la Región 1 que figuran en el Cuadro 12 es superior a la disponibilidad anual del servicio en otras ciudades de la Región 1 que también figuran en el Cuadro 12 y cuya densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre es de $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$.
- 2) Para una dfp de $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ (es decir, reducción de 15 dB), la disponibilidad anual del servicio para la relación C/N de 5,6 dB en algunas ciudades de ejemplo de la Región 1 que figuran en el Cuadro 12 es superior a la disponibilidad anual del servicio en otras ciudades de la Región 1 que también figuran en el Cuadro 12 y cuya densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre es de $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$.

En la Región 1, se parte de la base de que una densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre de $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ permite mejorar la disponibilidad anual del servicio en algunas ciudades de la Región 1, como se muestra en el Cuadro 12. Por ejemplo, debe observarse que una ciudad con un índice de precipitaciones $R_{0,01\%}$ inferior a los 31 mm/h en la Región 1 permite una dfp en la superficie terrestre de $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ en lugar de $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ para aumentar la disponibilidad anual del servicio para la relación de C/N de 10,7 dB del 99,90% al 99,99%.

Como se indica en los Cuadros 12 y 13, el valor necesario de la densidad de flujo de potencia en la superficie terrestre para una red de satélites específica está estrechamente vinculado a diferentes factores (como la atenuación total del enlace en el área concernida, la disponibilidad requerida, el esquema de modulación, etc.).

6 Conclusión

En este Apéndice se ha demostrado que:

- la atenuación debida a la lluvia y absorción gaseosa atmosférica en las bandas 17,3 GHz y 42,5 GHz del SRS son considerablemente superiores que en la banda de 12 GHz;
 - suponiendo un diseño de sistemas de satélites convencionales, la p.i.r.e. se determina teniendo en cuenta los requisitos del margen del enlace para alcanzar los objetivos de disponibilidad. La p.i.r.e. necesaria podría ser demasiado grande para que el sistema de satélites fuera factible;
 - dadas las condiciones de propagación, puede que sea necesario aplicar las adecuadas técnicas de reducción de la atenuación debida a la lluvia para poner en funcionamiento sistemas del SRS factibles en las bandas de frecuencias más elevadas.
-