

## RECOMENDACIÓN UIT-R BO.1659

**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**

(Cuestiones UIT-R 21/6 y UIT-R 22/6)

(2003)

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.

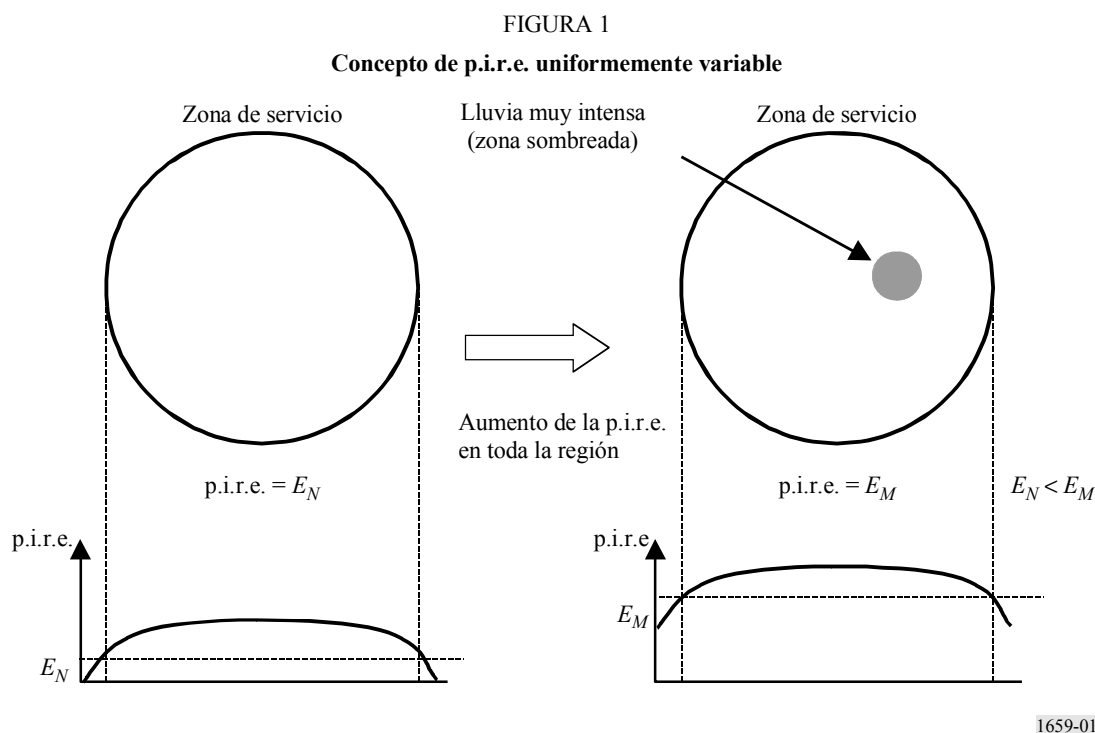
##### 1.1 p.i.r.e. uniformemente variable

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  $E_M$ .



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.

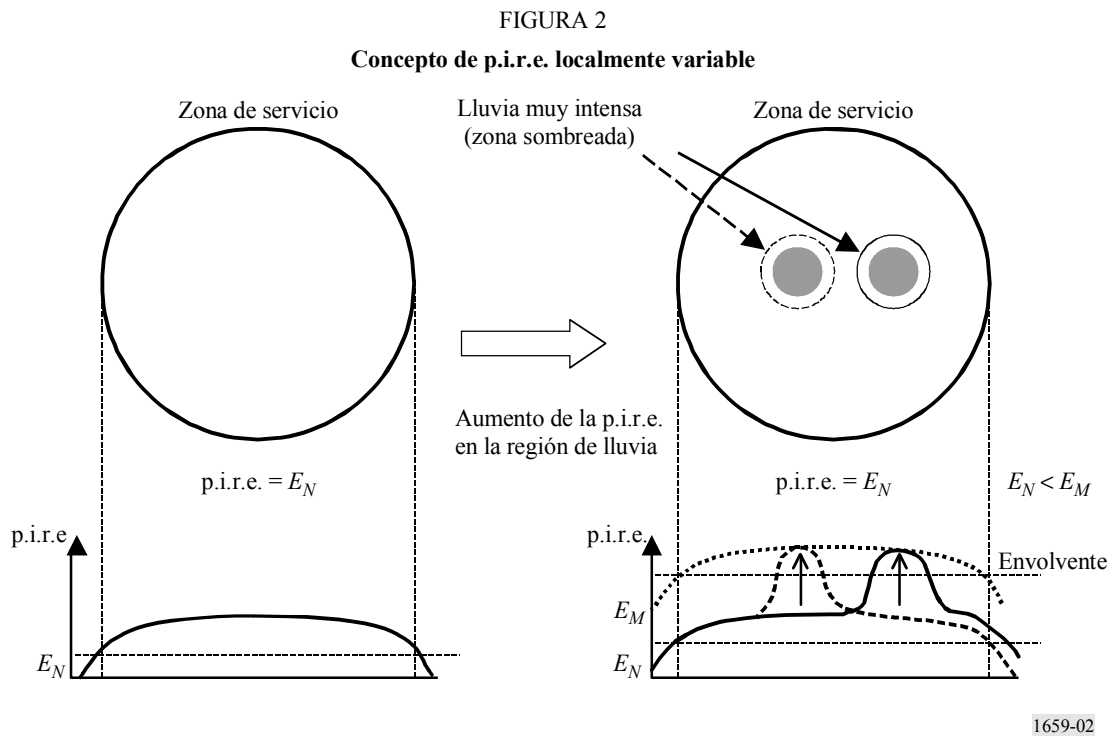
## 1.2 p.i.r.e. localmente variable

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. ( $E_M$ ).



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;
- envolvente 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

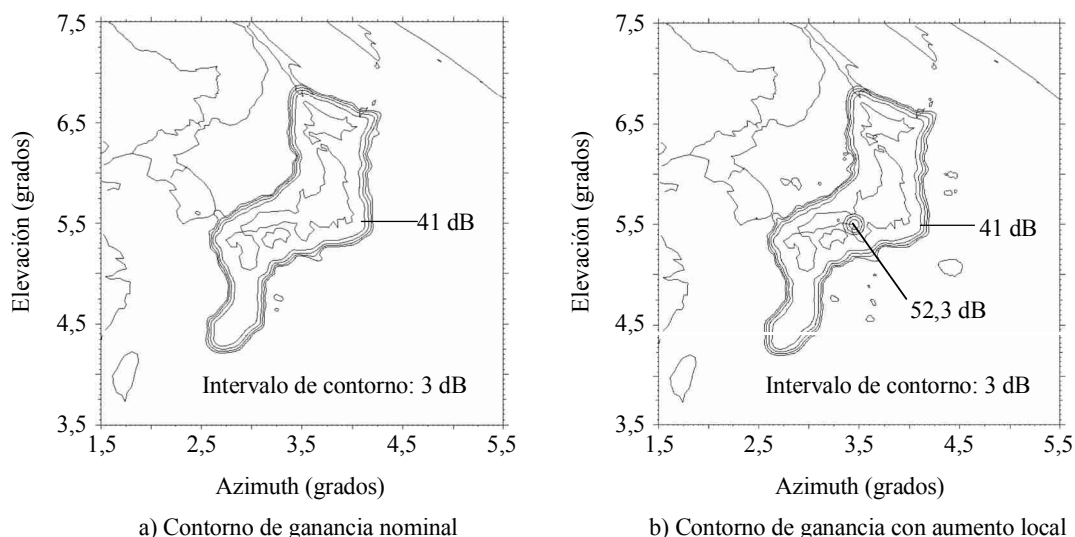
A continuación se da un ejemplo de síntesis de antena para explicar la fiabilidad de los satélites de p.i.r.e. localmente variable. Los parámetros son los siguientes:

- 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)



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<br>(incluida la fuente de<br>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.

## **2 Ejemplo de transmisión jerárquica**

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.

## **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, desintercalan) 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

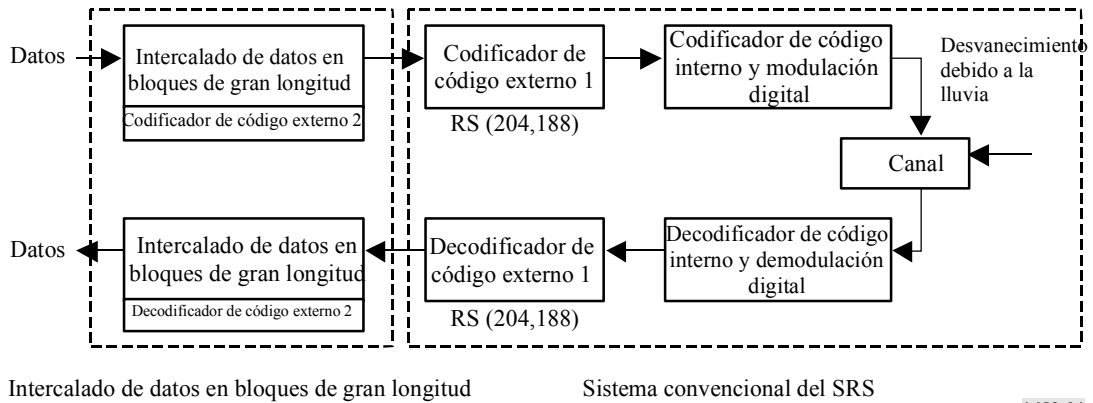
Con objeto de comprobar la validez del esquema se llevó a cabo una simulación de intercalado de datos en bloques de gran longitud utilizando para ello datos reales de la atenuación debida a la lluvia medidos a lo largo de un año. En la Fig. 4 se muestra un diagrama esquemático de la simulación. En la 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.
- $d_{fp}$  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.

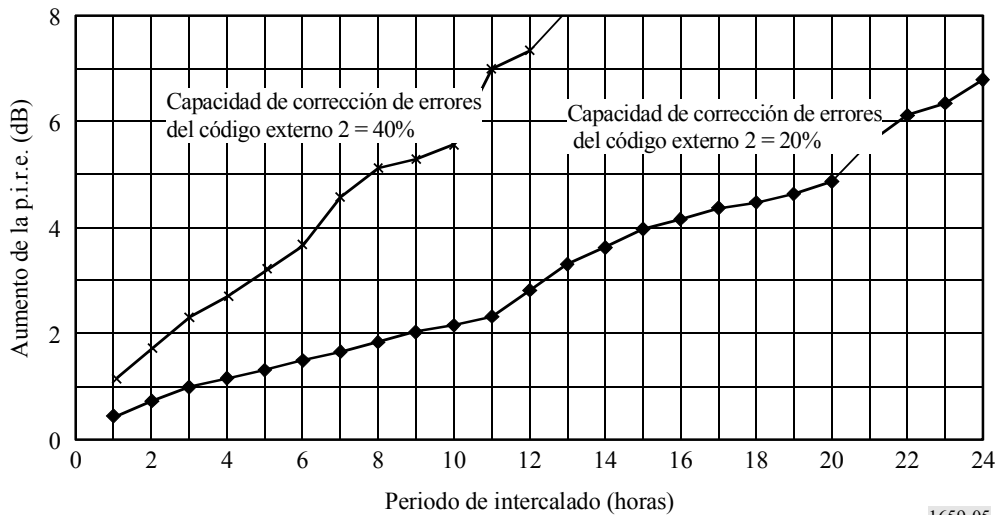
El aumento de la p.i.r.e. en función del periodo de intercalado se muestra en la Fig. 5, en la cual la capacidad de corrección de errores del código externo 2 se fijó al 20% o al 40%. La p.i.r.e. aumenta con el periodo de intercalado, así como con el incremento de la capacidad de almacenamiento y del 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 4  
Diagrama esquemático de la simulación



1659-04

FIGURA 5  
Ejemplo de calidad de funcionamiento del intercalado de datos en bloques de gran longitud expresada como aumento de la dpf equivalente (simulación)



1659-05

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.

#### **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.
- 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**

|  |                            | <b>Moscú</b>  |          | <b>Londres</b> |          | <b>París</b> |          | <b>Estambul</b> |          |
|--|----------------------------|---------------|----------|----------------|----------|--------------|----------|-----------------|----------|
| 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)                      |                            | 26,8          |          | 22,0           |          | 25,9         |          | 24,2            |          |
|  | 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   | 0,2 dB         | 2,0 dB   | 0,2 dB       | 1,6 dB   | 0,1 dB          | 1,4 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia          | 0,3%                       | 0,8 dB        | 2,9 dB   | 0,6 dB         | 2,5 dB   | 0,6 dB       | 2,4 dB   | 0,6 dB          | 2,3 dB   |
|  | 0,1%                       | 1,5 dB        | 5,4 dB   | 1,3 dB         | 4,7 dB   | 1,2 dB       | 4,6 dB   | 1,2 dB          | 4,4 dB   |

CUADRO 4

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

|  |                            | <b>Tokio</b>   |          | <b>Kuala Lumpur</b> |          | <b>Seúl</b>  |          | <b>Bangkok</b> |          |
|--|----------------------------|----------------|----------|---------------------|----------|--------------|----------|----------------|----------|
| 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)                      |                            | 52,4           |          | 116,1               |          | 33,2         |          | 98,0           |          |
|  | 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         | 1,8 dB   | 0,1 dB              | 1,2 dB   | 0,2 dB       | 1,8 dB   | 0,1 dB         | 1,3 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia          | 0,3%                       | 1,5 dB         | 5,8 dB   | 4,2 dB              | 17,5 dB  | 0,9 dB       | 3,6 dB   | 3,2 dB         | 13,5 dB  |
|  | 0,1%                       | 2,9 dB         | 10,6 dB  | 7,4 dB              | 29,3 dB  | 1,8 dB       | 6,7 dB   | 5,8 dB         | 23,1 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**

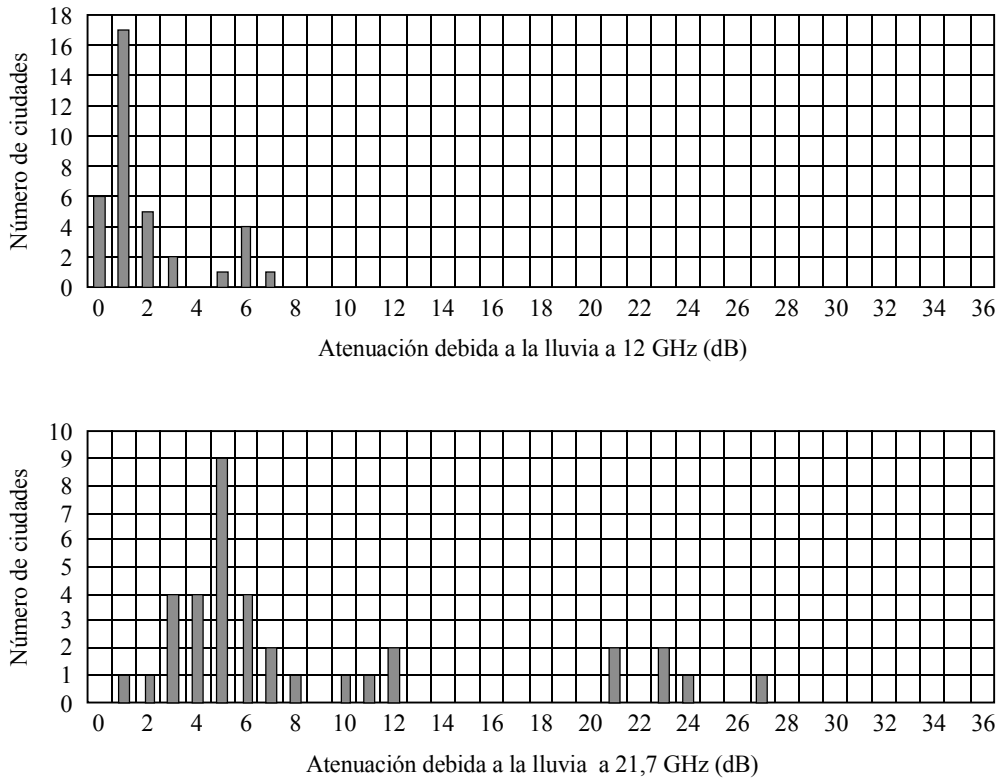
|  |                            | Miami         |          | Río de Janeiro |          |
|--|----------------------------|---------------|----------|----------------|----------|
| Longitud/latitud (grados)              |                            | 80,2 W/25,8 N |          | 43,2 W/22,9 S  |          |
| Ángulo de elevación (grados)           |                            | 51,8          |          | 63,1           |          |
| Posición orbital del satélite (grados) |                            | 101,2 W       |          | 45,2 W         |          |
| $R_{0,01}$ (mm/h)                      |                            | 95,7          |          | 59,1           |          |
|  | 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        | 6,1 dB   | 1,9 dB         | 4,4 dB   |
|  | 0,1%                       | 5,0 dB        | 10,9 dB  | 3,6 dB         | 8,0 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% del tiempo de un año medio. Los resultados se muestran en las Figs. 6, 7 y 8 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 6

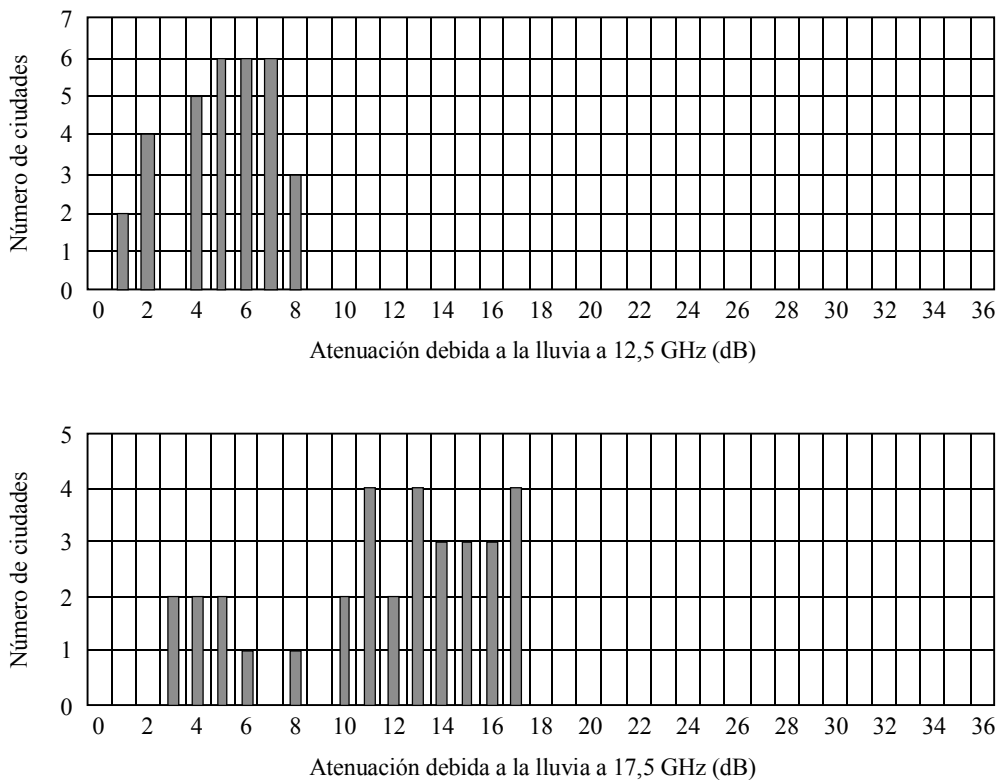
Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales de los países de la Región 1 a 12,0 GHz y a 21,7 GHz



1659-06

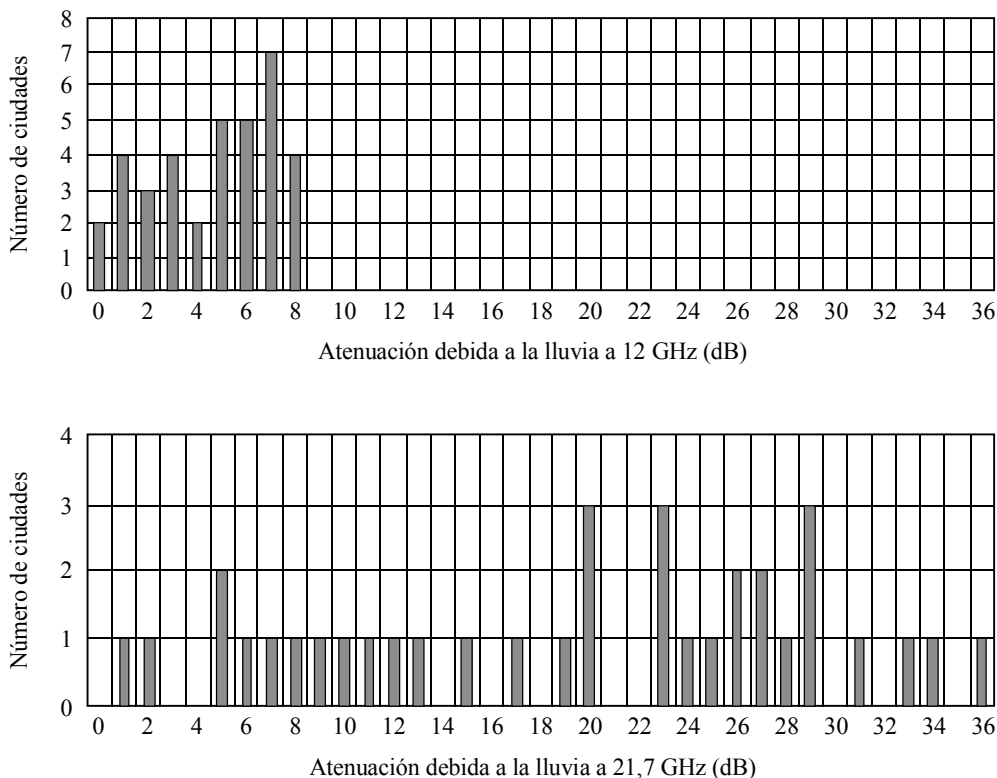
FIGURA 7

Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales de los países de la Región 2 a 12,5 GHz y a 17,5 GHz



1659-07

FIGURA 8  
**Atenuación debida a la lluvia para el 0,1% del año en capitales de los países de la Región 3 a 12,5 GHz y a 17,5 GHz**



1659-08

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         | —                          | 1,5 dB   | 1,5 dB  | 1,2 dB  | 1,1 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia | 3,0%                       | 2,1 dB   | 1,7 dB  | 1,7 dB  | 1,6 dB   |
|                               | 1,0%                       | 4,3 dB   | 3,7 dB  | 3,6 dB  | 3,5 dB   |
|                               | 0,3%                       | 8,9 dB   | 7,7 dB  | 7,5 dB  | 7,3 dB   |
|                               | 0,1%                       | 15,8 dB  | 13,7 dB | 13,4 dB | 13,1 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         | –                          | 1,0 dB   | 0,9 dB         |
| Atenuación debida a la lluvia | 3,0%                       | 6,9 dB   | 5,0 dB         |
|                               | 1,0%                       | 13,9 dB  | 10,1 dB        |
|                               | 0,3%                       | 29,9 dB  | 23,1 dB        |
|                               | 0,1%                       | 50,1 dB  | 39,0 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         | –                          | 1,3 dB   | 0,8 dB       | 1,3 dB  | 0,9 dB  |
| Atenuación debida a la lluvia | 3,0%                       | 4,4 dB   | 10,1 dB      | 2,7 dB  | 8,9 dB  |
|                               | 1,0%                       | 8,9 dB   | 19,9 dB      | 5,7 dB  | 17,6 dB |
|                               | 0,3%                       | 17,8 dB  | 56,0 dB      | 11,6 dB | 43,9 dB |
|                               | 0,1%                       | 30,8 dB  | 88,9 dB      | 20,3 dB | 71,3 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 | Mosú     |          | Londres  |          |
|-------------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                               |                            | 18,1 GHz | 27,8 GHz | 18,1 GHz | 27,8 GHz |
| Absorción atmosférica         | –                          | 0,6 dB   | 1,0 dB   | 0,6 dB   | 1,0 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia | 0,3%                       | 2,0 dB   | 4,7 dB   | 1,7 dB   | 4,0 dB   |
|                               | 0,1%                       | 3,8 dB   | 8,6 dB   | 3,2 dB   | 7,4 dB   |
|                               |                            | París    |          | Estambul |          |
|                               |                            | 18,1 GHz | 27,8 GHz | 18,1 GHz | 27,8 GHz |
| Absorción atmosférica         | –                          | 0,5 dB   | 0,8 dB   | 0,4 dB   | 0,7 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia | 0,3%                       | 1,6 dB   | 3,9 dB   | 1,5 dB   | 3,7 dB   |
|                               | 0,1%                       | 3,1 dB   | 7,1 dB   | 2,9 dB   | 6,9 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         | –                          | 0,4 dB   | 1,1 dB   | 0,8 dB   | 0,4 dB         | 0,9 dB   | 0,6 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia | 0,3%                       | 6,5 dB   | 13,0 dB  | 16,0 dB  | 4,8 dB         | 9,7 dB   | 12,0 dB  |
|                               | 0,1%                       | 11,7 dB  | 22,6 dB  | 27,5 dB  | 8,6 dB         | 17,0 dB  | 20,8 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   | 1,3 dB   | 0,9 dB   | 0,3 dB       | 0,8 dB   | 0,6 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia | 0,3%                       | 4,0 dB   | 7,8 dB   | 9,5 dB   | 11,6 dB      | 23,8 dB  | 29,4 dB  |
|                               | 0,1%                       | 7,3 dB   | 13,9 dB  | 16,8 dB  | 19,7 dB      | 39,3 dB  | 48,1 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       | 0,9 dB   | 0,6 dB   |
| Atenuación debida a la lluvia | 0,3%                       | 2,5 dB   | 4,9 dB   | 6,0 dB   | 8,9 dB       | 18,4 dB  | 22,8 dB  |
|                               | 0,1%                       | 4,6 dB   | 8,9 dB   | 10,8 dB  | 15,5 dB      | 31,0 dB  | 38,1 dB  |

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

En la Sección III del Anexo a la Resolución 525 (CAMR-92), se especifica el procedimiento provisional para poner en funcionamiento los sistemas del SRS (TVAD) antes del 1 de abril de 2007: «... se aplicarán los procedimientos contenidos en la Resolución **33 (Rev.CMR-97)**, si la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producida por las emisiones procedentes de una estación espacial en el territorio de otro país excede de:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$  sobre el plano horizontal; o
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada entre  $25^\circ$  y  $90^\circ$  sobre el plano horizontal; o
- valores obtenidos por interpolación lineal entre estos límites para ángulos de llegada entre  $5^\circ$  y  $25^\circ$  sobre el plano horizontal».

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.

En los Cuadros 12 y 13 se muestran los porcentajes de tiempo de un año medio para los que la relación  $C/N$  sobrepasa 7,5 dB, 10,7 dB y 17,0 dB.

En los Cuadros 12 y 13 se supone que los valores de la relación  $C/N$  requeridos son respectivamente 7,5 dB y 10,7 dB de MDP-4 3/4 y MDP-8 con codificación reticular, incluido un margen de realización del equipo y un margen de pérdidas de los equipos del satélite, en lo que respecta a la anchura de banda de ruido de Nyquist.

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 | París  | Estambul |
|------------------------------------|---------|--------|---------|--------|----------|
| Ángulo de elevación (grados)       |         | 26,5   | 23,2    | 33,2   | 40,7     |
| dfp (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))) |         | -105,0 | -105,9  | -105,0 | -105,0   |
| C/N total                          | 7,5 dB  | 99,99% | 99,99%  | 99,99% | 99,99%   |
|                                    | 10,7 dB | 99,99% | 99,99 % | 99,99% | 99,99%   |
|                                    | 17,0 dB | 99,95% | 99,95%  | 99,97% | 99,97%   |

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**

|                                    |         | <b>Tokio</b> | <b>Kuala Lumpur</b> | <b>Seúl</b> | <b>Bangkok</b> |
|------------------------------------|---------|--------------|---------------------|-------------|----------------|
| Ángulo de elevación (grados)       |         | 38,0         | 77,4                | 44,9        | 73,5           |
| dfp (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))) |         | -105,0       | -105,0              | -105,0      | -105,0         |
| C/N total                          | 7,5 dB  | 99,96%       | 99,71%              | 99,99%      | 99,82%         |
|                                    | 10,7 dB | 99,94%       | 99,60%              | 99,98%      | 99,73%         |
|                                    | 17,0 dB | 99,83%       | 99,27%              | 99,93%      | 99,40%         |

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 las ciudades de la Región 1 enumeradas en el Cuadro 12, el porcentaje de tiempo anual para la relación *C/N* de 17,0 dB sobrepasa el 99,95%. Por otra parte, en las ciudades con mayor intensidad de lluvia del Cuadro 13, el porcentaje de tiempo anual para la relación *C/N* de 17,0 dB varía entre el 99,27% y el 99,93%.

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, son necesarias medidas eficaces para compensar la atenuación debida a la lluvia.

## 6 Conclusión

En este Apéndice se ha demostrado que:

- la atenuación debida a la lluvia y absorción gaseosa atmosférica en las bandas 17/21 GHz y 42 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.