

## RECOMENDACIÓN UIT-R BO.1696

**Metodología para determinar las características de disponibilidad de los sistemas multiprograma del servicio de radiodifusión por satélite y sus enlaces de conexión asociados que funcionan en las bandas planificadas**

(Cuestión UIT-R 3/6)

(2005)

**Cometido**

Esta Recomendación propone metodologías para determinar los objetivos de calidad de los sistemas digitales que funcionan en la banda 11,7-12,7 GHz, y establece objetivos de disponibilidad para los sistemas digitales que son superiores a los de los sistemas analógicos. En el Anexo 1 de la presente Recomendación figuran ejemplos de implementaciones de las metodologías recomendadas, así como soluciones exactas y aproximadas.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los sistemas digitales multiprograma se están utilizando actualmente en el servicio de radiodifusión por satélite (SRS);
- b) que la calidad de los sistemas digitales multiprograma es importante para las administraciones que implementan dichos sistemas;
- c) que las características de disponibilidad del sistema ofrecen un punto de referencia importante para evaluar la calidad relativa de las asignaciones al SRS de una administración, en el caso de que la asignación se implemente con un sistema digital multiprograma;
- d) que las características de recepción de un sistema digital multiprograma son significativamente distintas de las características de recepción de un sistema analógico MF;
- e) que el objetivo de calidad de los actuales Apéndices 30 y 30A del Reglamento de Radiocomunicaciones en cuanto a mantener una relación  $C/N$  igual o mejor a 14 dB durante el 99% del mes más desfavorable, se basa en la transmisión analógica MF;
- f) que, debido a estos factores, conviene elaborar un objetivo de calidad en cuanto a disponibilidad, específicamente para los sistemas digitales multiprograma;
- g) que toda metodología para determinar las características de disponibilidad de los sistemas digitales multiprograma del SRS debe reconocer la amplia gama de umbrales de la relación  $C/N$  en la que funcionan los diversos sistemas;
- h) que la elaboración de un objetivo de calidad de un sistema digital multiprograma no sólo es útil para la banda planificada del SRS, sino también para otras bandas del SRS, por ejemplo, la banda 17/21 GHz,

*considerando además*

a) que la calidad de los sistemas digitales multiprograma puede caracterizarse mediante la evaluación de la disponibilidad del sistema correspondiente al punto casi sin errores (QEF)<sup>1</sup> el cual se asocia a la recepción de la imagen con gran calidad,

*reconociendo*

a) que aunque muchos enlaces operacionales de sistemas digitales multiprograma del SRS tienen una disponibilidad del enlace QEF y mejor del 99,5% del mes más desfavorable (o aproximadamente el 99,86% de un año medio en la mayoría de las zonas hidrometeorológicas), la disponibilidad requerida se determina mediante objetivos específicos de calidad del sistema;

b) que 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, recomienda, entre otras cosas, la selección de uno de los cuatro sistemas de transmisión descritos en el Anexo 1 de dicha Recomendación al implementar los servicios de televisión digital multiprograma por satélite;

c) que la Recomendación UIT-R BO.1516 muestra que los valores de la relación  $C/N$  en el punto QEF para dichos sistemas se extiende a lo largo de una amplia gama de valores y que pueden efectuarse compromisos entre parámetros primarios del enlace digital para cumplir los objetivos de calidad,

*recomienda*

1 que las administraciones utilicen las metodologías del Anexo 1 a esta Recomendación para determinar las características de disponibilidad de los sistemas digitales multiprograma del SRS y sus enlaces de conexión asociados que funcionan en las bandas planificadas;

2 que los sistemas digitales multiprograma presenten, a título orientativo, características QEF durante al menos el  $X\%$  del mes más desfavorable;

3 que al implementar los sistemas digitales multiprograma se mantenga un valor objetivo de la  $C/N$  (mínima  $C/N + Z$ ) dB en la zona de servicio o en la zona de cobertura durante al menos el  $X\%$  del mes más desfavorable. Como orientación, puede tomarse el 99,5% como valor por defecto de  $X$ . Los valores de la relación  $C/N$  mínima se definen en el Cuadro 1 (también se describen en el Cuadro 2 de la Recomendación UIT-R BO.1516). El valor  $Z$  es el margen de degradación adicional<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> El QEF se refiere generalmente para una BER aproximada de un error binario por hora o por día. Cuando un sistema digital multiprograma funciona con una BER igual o superior a la del punto QEF, la calidad de la imagen resulta únicamente una función de las proporciones y algoritmos de compresión de vídeo que se utilicen, y no es función de la BER del canal. Cuando un sistema digital multiprograma funciona con una BER inferior o peor a la del punto QEF, la calidad de la imagen resulta ser función de las proporciones y algoritmos de compresión vídeo y de la BER del canal.

<sup>2</sup> El valor de  $Z$  es la suma de  $Z_1$  y  $Z_2$ . En el caso del Sistema C y del Sistema D del Cuadro 1, se necesita un margen adicional  $Z_1$  para las distorsiones de la implementación con circuitos y del transpondedor del satélite. Como orientación, puede tomarse un valor de 1,8-2,3 dB, dependiendo de la modulación utilizada, como valor por defecto para  $Z_1$ .  $Z_2$  es el margen teniendo en cuenta la interferencia procedente de los satélites del SRS propios e interregionales, el ruido del enlace ascendente y la interferencia procedente de otras fuentes. Es necesario determinar el valor de  $Z_2$  para cada caso específico, teniendo en cuenta el entorno operativo y de interferencia de cada sistema.

CUADRO 1

**C/N mínima para un funcionamiento QEF (dB) (tomada del Cuadro 2 de la Recomendación UIT-R BO.1516)**

Modulación y codificación		Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D
Modos de modulación con soporte individual y en la misma portadora		MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-8, MDP-4, y MDP2
Requisito de la C/N (dB)		C/N para QEF <sup>(1)</sup>	C/N para QEF <sup>(2)</sup>	C/N para QEF <sup>(3)</sup>	C/N para QEF <sup>(4)</sup>
Código de modos					
MDP-2	Conv.	1/2	No utilizado	No utilizado	No
MDP-4	Conv.	5/11	No utilizado	No utilizado	2,8/3,0
		1/2	4,1	3,8	3,3/3,5
		3/5	No	No utilizado	4,5/4,7
		2/3	5,8	5	5,1/5,3
		3/4	6,8	No utilizado	6,0/6,2
		4/5	No utilizado	No utilizado	6,6/6,8
		5/6	7,8	No utilizado	7,0/7,2
		6/7	No utilizado	7,6	No utilizado
		7/8	8,4	No utilizado	7,4
MDP-8	Reticula	No utilizado	No utilizado	No utilizado	8,4

<sup>(1)</sup> Con una BER  $<10^{-10}$ . Los valores de C/N para el Sistema A se refieren a resultados de simulación por computador logrados en una cadena de satélites ficticia, que incluye multiplex de entrada, ATOP y el multiplex de salida con caída de modulación de 0,35. Se basan en la hipótesis de decodificación de Viterbi por decisión programable en el receptor. Se ha adoptado una relación de anchura de banda/velocidad de símbolos de 1,28. Las cifras par C/N incluyen una degradación calculada de 0,2 dB debida a limitaciones de anchura de banda en los filtros IMUX y OMUX, distorsión no lineal de 0,8 dB en ATOP en saturación y degradación del módem de 0,8 dB. Las cifras se aplican a una BER =  $2 \times 10^{-4}$  antes del codificador RS (204,188), lo que corresponde a QEF a la salida del codificador RS. No se tiene en cuenta la degradación debida a la interferencia.

<sup>(2)</sup> Con una BER de  $1 \times 10^{-12}$ .

<sup>(3)</sup> MDP-4 teórica (2 bits por símbolo)  $E_s/N_0$ , es decir, C/N medida en la anchura de banda Nyquist (velocidad de baudios 2) para conformación espectral normal y truncada, respectivamente. No incluye el margen de realización del soporte físico ni el margen de pérdida del transpondedor del satélite. Dos valores corresponden a la conformación espectral de transmisión del Sistema C normal y truncado, respectivamente.

<sup>(4)</sup> Estos valores han sido derivados de simulaciones por computador y se consideran valores teóricos. Los valores se aplican a una BER =  $2 \times 10^{-4}$  antes de RS (204,188) con anchura de banda de Nyquist. No incluyen el margen de realización del soporte físico ni el margen de pérdida del transpondedor del satélite.

## Anexo 1

### **Metodologías para determinar la calidad en términos de disponibilidad de los sistemas digitales multiprograma del SRS y sus enlaces de conexión asociados que funcionan en las bandas planificadas**

#### **1 Introducción**

##### **1.1 Observaciones generales**

La utilización de los sistemas digitales de transmisión multiprograma se ha generalizado en el SRS. Dicha utilización se ha reconocido en diversas tareas del UIT-R. En particular, algunos de los parámetros empleados en la nueva planificación del SRS de las Regiones 1 y 3 reflejan la introducción de dichos sistemas digitales de transmisión multiprograma. Un parámetro del sistema que no se ha definido adecuadamente en las transmisiones digitales multiprograma es la calidad del sistema en términos de disponibilidad, teniendo en cuenta las estadísticas del desvanecimiento de la propagación en el enlace de conexión y en el enlace descendente y las características particulares del sistema digital (por ejemplo, del entorno de interferencia). Dado que los sistemas digitales de transmisión multiprograma continúan estudiándose e implementándose, este Anexo ofrece las metodologías recomendadas para calcular el umbral de calidad en términos de disponibilidad de los sistemas digitales contemporáneos y los modelos de propagación.

##### **1.2 Características específicas de los sistemas digitales multiprograma del SRS**

La calidad de un sistema operativo digital del SRS puede caracterizarse atendiendo a dos umbrales distintos de calidad de la modulación digital. El primero, denominado en ocasiones el umbral de funcionamiento QEF, se caracteriza por un funcionamiento con una BER de aproximadamente un error binario por hora o día (BER de  $10^{-9}$  a  $10^{-12}$ ). El segundo, en algunos casos denominado el del punto de «congelación de trama», o el del punto en el que se pierde la continuidad de la imagen de vídeo, se da cuando la BER es tan elevada que el decodificador de compresión vídeo no es capaz de reconstruir una trama de imagen. Este punto de congelación de trama suele estar muy próximo al de desenganche total de la portadora del demodulador y de los bucles de seguimiento de la temporización binaria.

Por encima del punto QEF, la calidad de la imagen digital permanece fundamentalmente constante para todos los valores de la relación  $C/N$ . De hecho, el nivel de la calidad de la imagen de vídeo en esta región es independiente de la relación  $C/N$  del enlace, es decir, depende únicamente de la calidad y de la relación de compresión del codificador de vídeo con compresión que se esté utilizando, así como de la velocidad binaria asignada al canal de vídeo.

La calidad de vídeo se degrada rápidamente desde el punto QEF hasta el punto de congelación de trama debido a la avalancha de errores binarios que se presentan ante el decodificador de vídeo, y que ya no pueden reducirse mediante la corrección de errores directa concatenada. En el umbral de enganche de la corrección de errores, el vídeo se detiene abruptamente, lo que normalmente da lugar a una visualización de la trama de vídeo decodificada más recientemente.

Según la Nota 2 del *recomienda* 1.2 de la Recomendación UIT-R BO.1444, la diferencia de la relación  $C/N$  entre el punto de congelación de trama y el punto QEF se supone que es de 1,5 dB, a menos que una administración especifique otra cosa. En esta Recomendación, se calcula la disponibilidad en el punto QEF.

## 2 Descripción de las metodologías recomendadas

### 2.1 Introducción de los parámetros pertinentes

La calidad del enlace digital del SRS depende del diseño técnico de éste, incluyendo la elección de la codificación digital, la multiplexación y los métodos de modulación, la p.i.r.e. en el satélite y el factor de calidad ( $G/T$ ) del receptor del SRS. Otros parámetros que influirán en la disponibilidad del sistema incluirán el desvanecimiento de la propagación, la despolarización debida a la lluvia, la diferencia de alineación de la polarización, el error de puntería de la antena de recepción, el control de potencia en el enlace de conexión ascendente (UPC) y el control automático de ganancia (CAG) a bordo del satélite, así como la interferencia procedente de sistemas del SRS vecinos.

El Cuadro 2 ofrece la lista de las Recomendaciones del UIT-R aplicadas a los puntos siguientes. Se consideran las técnicas mencionadas en la Recomendación UIT-R BO.794 para minimizar el efecto de la atenuación debido a la lluvia en el enlace de conexión y en particular el UPC y el CAG a bordo: el UPC permite al enlace de conexión mantener un nivel de potencia determinado en el satélite cuando hay desvanecimientos de la propagación, mientras que el CAG a bordo mantiene la potencia recibida total del satélite en un nivel tal que el amplificador de potencia quede excitado a un nivel constante, es decir, que el satélite mantiene el nivel de la p.i.r.e. del enlace descendente, con independencia de la condición del canal del enlace ascendente. Dado que es habitual suponer que las señales de interferencia en el enlace ascendente no sufren desvanecimiento al mismo tiempo que el enlace deseado, la utilización del CAG a bordo se traduce en un aumento de la potencia de la señal de interferencia en el enlace ascendente, lo que reduce la  $C/I$  del enlace ascendente. La diversidad de emplazamientos, que también se examina en la Recomendación UIT-R BO.794, se aborda plenamente en la Recomendación UIT-R P.618, la cual indica también una conversión de la disponibilidad de un enlace único en disponibilidad con diversidad de emplazamientos múltiples; si puede aplicarse, esta conversión puede asociarse a los resultados obtenidos utilizando la metodología que se presenta a continuación.

### 2.2 Calidad del sistema

La calidad del sistema total se determina mediante la relación combinada de potencias de la portadora y del ruido más la interferencia  $C/(N + I)$ , definida por:

$$C/(N + I) = C/(N + I)_u \oplus C/(N + I)_d \quad \text{dB} \quad (1)$$

siendo:

$$C/(N + I)_u = C/N_u \oplus C/I_u \quad \text{dB} \quad (1a)$$

$$C/(N + I)_d = C/N_d \oplus C/I_d \quad \text{dB} \quad (1b)$$

y

$C/N_u$ : relación entre las potencias de la portadora y del ruido térmico en el enlace ascendente (dB)

$C/I_u$ : relación entre las potencias de la portadora y de la interferencia en el enlace ascendente (dB)

$C/N_d$ : relación de las potencias de la portadora y del ruido térmico en el enlace descendente (dB)

$C/I_d$ : relación entre las potencias de la portadora y de la interferencia del enlace descendente (dB)

Opérateur  $\oplus$ :  $A \oplus B = -10 \log (10^{-A/10} + 10^{-B/10})$

CUADRO 2  
Recomendaciones UIT-R pertinentes

Recomendación UIT-R	Título	Aplicación	
P.618	Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio	Atenuación debida a la propagación	
P.676	Atenuación debida a los gases atmosféricos		
P.837	Características de la precipitación para establecer modelos de propagación		
P.839	Modelo de estimación de la altura de la lluvia, para utilizar en los métodos de predicción		
P.840	Atenuación debida a las nubes y a la niebla		
P.841	Conversión de las estadísticas anuales en estadísticas del mes más desfavorable		
P.838	Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción		
P.1511	Topografía para establecer modelos de propagación Tierra-espacio		
P.453	Índice de refracción radioeléctrica: su fórmula y datos sobre la refractividad		
P.835	Atmósferas normalizadas de referencia para la atenuación debida a los gases		
P.679	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de radiodifusión por satélite		
BO.790	Características del equipo receptor y cálculo del factor de calidad ( $G/T$ ) de los receptores del servicio de radiodifusión por satélite		Cálculo del factor de calidad del receptor ( $G/T$ )
BO.793	Distribución del ruido entre los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite (SRS) y los enlaces descendentes		Reparto del ruido
BO.794	Técnicas para reducir al mínimo el efecto de la influencia de la lluvia sobre el enlace de conexión respecto a las características generales de los sistemas del servicio de radiodifusión por satélite	Técnicas de reducción del desvanecimiento debido a la lluvia	
BO.1212	Cálculo de la interferencia total entre las redes de satélites geoestacionarios del servicio de radiodifusión por satélite	Cálculo de la $C/I$	
BO.1516	Sistemas de televisión digital multiprograma para utilización por satélites que funcionan en la gama de frecuencias 11/12 GHz	Parámetros de la modulación y la codificación	

### 2.2.1 Cálculo de la $C/N_u$

La relación entre las potencias de la portadora y del ruido térmico en el enlace ascendente,  $C/N_u$ , viene dada por:

$$C/N_u = EIRP_u - L_{su} - A_{pu}(p_u) + UPC(p_u) - BW_{effu} - k + G/T_s \quad \text{dB} \quad (2)$$

siendo:

$EIRP_u$ : potencia isotrópica radiada equivalente del enlace ascendente (dBW) en cielo despejado

$L_{su}$ : pérdidas del espacio libre en el enlace ascendente (dB) calculadas mediante la fórmula:

$$20 \log (4\pi R_u / \lambda_u)$$

donde:

$R_u$ : distancia (m) entre la estación del enlace de conexión y el satélite

$\lambda_u$ : longitud de onda (m) del enlace ascendente

$A_{pu}(p_u)$ : pérdidas de propagación totales en el enlace ascendente (dB) rebasadas durante  $p_u\%$  del tiempo; definidas por la Recomendación UIT-R P.618, § 2.5, como

$$= A_{gu} + A_u(P_u)$$

siendo:

$A_{gu}$ : la absorción gaseosa (dB) en el enlace ascendente (Recomendación UIT-R P.676)

$$A_u(p_u) = \sqrt{(A_{ru}(p_u) + A_{cu}(p_u))^2 + A_{su}^2(p_u)}$$

$A_{ru}(p_u)$ : atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente (dB) rebasada durante  $p_u\%$  del tiempo (Recomendación UIT-R P.618)

$A_{cu}(p_u)$ : atenuación debida a las nubes y la niebla en el enlace ascendente (dB) rebasada durante  $p_u\%$  del tiempo

$A_{su}(p_u)$ : desvanecimiento debido a los centelleos en el enlace ascendente (dB) rebasado durante  $p_u\%$  del tiempo

$P_u$ : rebasamiento o indisponibilidad (%) en el enlace ascendente

$UPC(p_u)$ : factor de control de potencia en el enlace ascendente (dB) que se calcula de la siguiente manera:

= 0 en condiciones de cielo despejado o cuando no se utiliza el control de potencia en el enlace ascendente

=  $\min(A_u(p_u), UPC_{m\acute{a}x}) - \epsilon$  en condiciones de desvanecimiento

siendo:

$UPC_{m\acute{a}x}$ : aumento máximo de la potencia de transmisión (dB) en presencia de atenuación de la propagación en el trayecto

$\epsilon$ : error positivo máximo del control de potencia en el enlace ascendente (dB)

$BW_{effu}$ : anchura de banda equivalente del ruido en el enlace ascendente (dB/Hz) de la portadora digital

$k$ : constante de Boltzmann,  $-228,6$  (dB(W/K · Hz))

$G/T_s$ : factor de calidad del receptor del satélite (dB/K).

### 2.2.2 Cálculo de la $C/N_d$

Con la utilización del CAG a bordo y/o el UPC, los sistemas del SRS se diseñan de forma que el transpondedor del satélite esté excitado con un nivel constante hasta el punto en el que la  $C/(N + I)$  del enlace ascendente cae por debajo de un umbral, creando una interrupción del sistema independiente de las condiciones del canal del enlace descendente. Según ello, la p.i.r.e. del satélite se mantiene constante y de esta manera la calidad en términos de disponibilidad del enlace descendente se desacopla, a todos los efectos prácticos, de la calidad del enlace ascendente. En estas condiciones, la relación de potencias de la portadora y del ruido térmico en el enlace descendente,  $C/N_d$  viene dada por:

$$C/N_d = EIRP_d - L_{sd} - A_{pd}(p_d) - BW_{effd} - k + G/T_g - Z_1 - dT(p_d) \quad \text{dB} \quad (3)$$

siendo:

$EIRP_d$ : potencia radiada isótropa equivalente del enlace descendente (dBW)

$L_{sd}$ : pérdidas del espacio libre en el enlace descendente (dB) calculadas mediante la fórmula:

$$= 20 \log(4\pi R_d/\lambda_d)$$

donde:

$R_d$ : distancia (m) entre el satélite y el terminal receptor

$\lambda_d$ : longitud de onda (m) del enlace descendente

$A_{pd}(p_d)$ : pérdidas de propagación totales del enlace descendente (dB) rebasadas durante  $p_d\%$  del tiempo; definidas por la Recomendación UIT-R P.618, § 2.5, como

$$= A_{gd} + A_d(p_d)$$

siendo:

$A_{dg}$ : absorción gaseosa en el enlace descendente (dB) (Recomendación ITU-R P.676)

$$A_d(p_d) = \sqrt{(A_{rd}(p_d) + A_{cd}(p_d))^2 + A_{sd}^2(p_d)}$$

$A_{rd}(p_d)$ : atenuación debida a la lluvia en el enlace descendente (dB) rebasada durante  $p_d\%$  del tiempo (Recomendación UIT-R P.618)

$A_{cd}(p_d)$ : atenuación debida a las nubes y la niebla en el enlace descendente (dB) rebasada durante  $p_d\%$  del tiempo

$A_{sd}(p_d)$ : desvanecimiento debido a los centelleos en el enlace descendente (dB) rebasado durante  $p_d\%$  del tiempo

$P_d$ : rebasamiento o indisponibilidad (%) en el enlace descendente

$BW_{effd}$ : anchura de banda efectiva del ruido en el enlace descendente (dB/Hz) de la portadora digital; igual a la  $BW_{effu}$  para el satélite repetidor con «guía ondas acodado»

$G/T_g$ : factor de calidad utilizable del terminal receptor (dB/K) en condiciones de cielo despejado, es decir, incluyendo únicamente el efecto de la absorción gaseosa (Recomendación ITU-R BO.790, Anexo 1, § 1 sin atenuación debida a la lluvia y a las nubes)

$Z_1$ : factor de ajuste (dB) para la distorsión del transpondedor del satélite

$dT(p_d)$ : aumento de la temperatura de ruido (dB/K) debida a la atenuación en el trayecto procedente de la lluvia y las nubes, rebasada durante  $p_d\%$  del tiempo (por ejemplo, diferencia en la  $G/T$  al aplicar la Recomendación UIT-R BO.790, Anexo 1, § 1 con:

1. la atenuación del trayecto fijada en  $A_{gd} + A_{rd} + A_{cd}$ ,
2. la atenuación del trayecto fijada a  $A_{gd}$  únicamente).

### 2.2.3 Cálculo de la $C/I$ total

La relación combinada total de potencias de la portadora y la interferencia,  $C/I$ , viene dada por:

$$C/I = C/I_u \oplus C/I_d \quad \text{dB} \quad (4)$$

siendo:

$C/I_u$ : relación entre las potencias de la portadora y la interferencia en el enlace ascendente (dB)

$C/I_d$ : relación entre la potencia de la portadora y la interferencia en el enlace descendente (dB)

Se utiliza la Recomendación UIT-R BO.1212 para calcular los valores de la  $C/I$  en el enlace ascendente y en el descendente en condiciones de cielo despejado, incluyendo la interferencia interior al sistema del SRS y entre sistemas. En condiciones de desvanecimiento del canal, se supone que las señales de interferencia entre sistemas no sufren desvanecimiento. Combinadas con la utilización del control de potencia en el enlace ascendente y/o el CAG a bordo, las  $C/I$  entre sistemas con desvanecimiento son equivalentes a las  $C/I$  en condiciones de cielo despejado, reducidas en el nivel del desvanecimiento del canal, de la forma:

$$C/I_u = [C/I_{cu} - A_u(p_u) + UPC(p_u)] \oplus C/I_{intra}^u(p_u) \quad \text{dB} \quad (4a)$$

$$C/I_d = [C/I_{cd} - A_d(p_d)] \oplus C/I_{intra}^d(p_d) \quad \text{dB} \quad (4b)$$

siendo:

$C/I_{cu}$ :  $C/I$  entre sistemas en el enlace ascendente en condiciones de cielo despejado (dB) según la Recomendación UIT-R BO.1212 al considerar únicamente la absorción gaseosa atmosférica (Recomendación UIT-R P.676) para los enlaces interferido y deseado y sin considerar el control de potencia en el enlace ascendente;

$C/I_{cd}$ :  $C/I$  entre sistemas en el enlace descendente en condiciones de cielo despejado (dB) según la Recomendación UIT-R BO.1212 al considerar únicamente la absorción gaseosa atmosférica (Recomendación UIT-R P.676) para los enlaces interferido y deseado;

$$C/I_{intra} = C/I_{intra}^u(p_u) \oplus C/I_{intra}^d(p_d) \quad \text{dB}$$

$C/I_{intra}$ : relación total combinada entre la portadora y la interferencia interior al sistema (dB)

$C/I_{intra}^u(p_u)$ : relación entre la portadora y la interferencia interior al sistema del enlace ascendente (dB), conforme a las Recomendaciones UIT-R BO.1212 y UIT-R P.618 para la despolarización debida a la lluvia

$C/I_{intra}^d(p_d)$ : relación entre la portadora y la interferencia interior al sistema en el enlace descendente (dB) conforme a las Recomendaciones UIT-R BO.1212 y UIT-R P.618 para la despolarización debida a la lluvia.

### 2.3 Disponibilidad general del sistema

La disponibilidad general del sistema define la capacidad de éste para mantener su  $C/(N+I)$  combinada general por encima de un determinado umbral a lo largo del tiempo. El desvanecimiento debido a la propagación en el trayecto de los enlaces determina esta característica de disponibilidad a lo largo del tiempo.

Dado que la utilización del UPC y/o del AGC a bordo mantiene constante la p.i.r.e. del satélite, independientemente del desvanecimiento en el enlace de conexión, las relaciones  $C/(N+I)$  del enlace ascendente y del enlace descendente están desacopladas. Definiendo:

$$\left(\frac{n+i}{c}\right) = 10^{-0,1C/(N+I)}; \quad \left(\frac{n+i}{c}\right)_u = 10^{-0,1C/(N+I)_u}; \quad \left(\frac{n+i}{c}\right)_d = 10^{-0,1C/(N+I)_d}$$

de forma que 
$$\left(\frac{n+i}{c}\right) = \left(\frac{n+i}{c}\right)_u + \left(\frac{n+i}{c}\right)_d$$

y dado que puede suponerse que el desvanecimiento en el trayecto del enlace de conexión y del enlace de servicio no guardan correlación, la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  combinada general es función de la suma de dos variables aleatorias independientes. De esta manera, la función de densidad de probabilidad (funciones de densidad de probabilidad) de la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  combinada general (y ahí de la  $C/(N+I)$ ) es la convolución de las funciones de densidad de probabilidad de la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  del enlace ascendente y del descendente.

Pueden utilizarse aproximaciones para obtener un límite superior y un límite inferior aproximado de la disponibilidad general del sistema, con lo que se evitan unos cálculos algo complejos necesarios para la solución exacta. Estos enfoques se describen en los puntos siguientes.

La probabilidad anual de disponibilidad obtenida más adelante puede convertirse en disponibilidad del mes más desfavorable utilizando el método de conversión de la Recomendación UIT-R P.841, para la medida anual mundial (a efectos de la planificación) o de otros climas.

#### 2.3.1 Porcentaje de rebasamiento en función del nivel de desvanecimiento

Al efectuar los cálculos de los puntos siguientes, es necesario deducir la probabilidad de rebasamiento en función del nivel de desvanecimiento. La Recomendación UIT-R P.618 no da una metodología directa para ello. A continuación se presentan dos metodologías.

El porcentaje de rebasamiento para un nivel de desvanecimiento determinado puede hallarse directamente a partir de una representación de la curva de atenuación del enlace del SRS que se estudia. Tomando como ejemplo el enlace del SRS definido en el Cuadro 3, la Fig. 1 representa las pérdidas totales de propagación en el enlace descendente  $A_{pd}(p_d)$  en función de la probabilidad anual de rebasamiento,  $p_d$ , calculada conforme a la Recomendación UIT-R P.618. Este gráfico muestra, por ejemplo, que una pérdida de propagación total en el enlace descendente de 3 dB corresponde a un rebasamiento aproximado del 0,025% o a una disponibilidad del 99,975%. En una realización por computador, pueden almacenarse los puntos de datos que describen la curva en un cuadro y cuando el nivel de desvanecimiento de la propagación requerido caiga entre dos puntos de datos, puede seguirse una técnica de interpolación para estimar la probabilidad de rebasamiento correspondiente.

Una metodología alternativa a la utilización de las curvas de atenuación representadas/tabuladas consiste en elaborar un algoritmo informático que:

- calcule el nivel de desvanecimiento de la propagación para un porcentaje de tiempo de rebasamiento determinado, tal como se describe en la Recomendación UIT-R P.618; y
- repita el proceso para distintos valores de porcentaje de tiempo de rebasamiento, hasta que se logre el valor deseado de desvanecimiento. Este último método se utiliza para generar los resultados del ejemplo del § 3.

Véase que una vez obtenida la relación entre el porcentaje de tiempo de rebasamiento y el nivel de atenuación, pueden utilizarse las ecuaciones (1) a (4) para deducir la relación correspondiente entre  $C/(N + I)_u$  o  $C/(N + I)_d$  y el porcentaje de tiempo de rebasamiento.

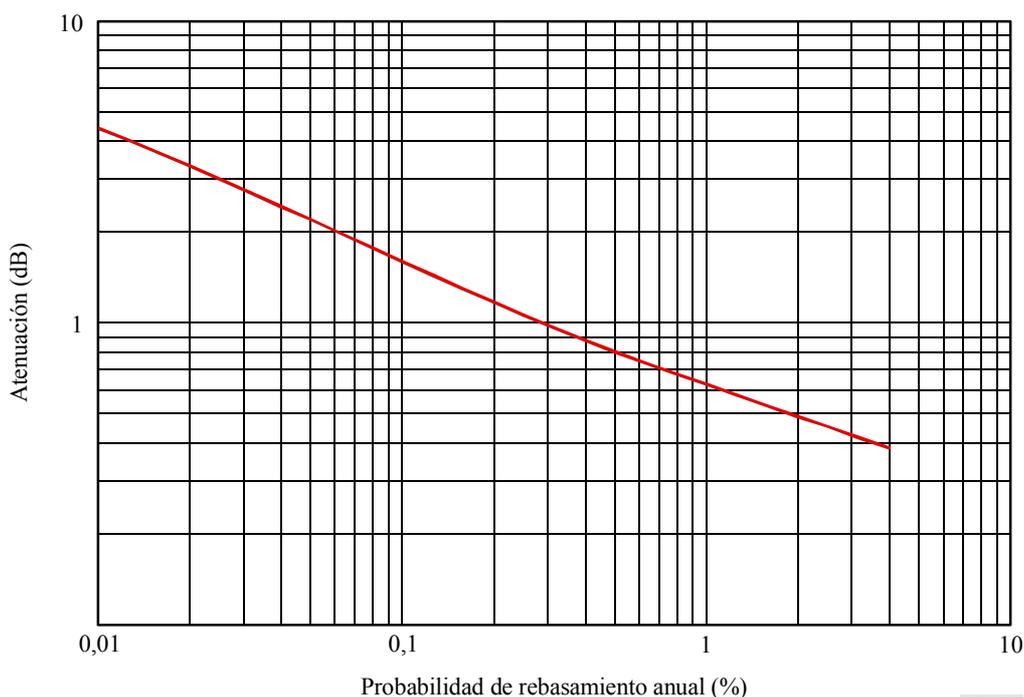
CUADRO 3

Ejemplo de sistema

Frecuencia del enlace descendente (GHz)	12
Polarización	Circular
Ángulo de elevación (grados)	30
Latitud del terminal (° N)	50
Longitud del terminal (° W)	10
Altura sobre el nivel medio del mar (km)	0 (Calculada, Recomendación UIT-R P.1511)
Diámetro de la antena del terminal (cm)	60
Eficacia de la antena del terminal (%)	70
Estación	Clima anual medio mundial

FIGURA 1

Curva de pérdidas de propagación del ejemplo de enlace



### 2.3.2 Disponibilidad exacta del sistema

Para determinar de forma precisa la disponibilidad total del sistema,  $P_s$ , es necesario obtener las funciones de densidad de probabilidad para cada  $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$  y  $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$ , y efectuar la convolución de estas dos funciones de densidad de probabilidad para generar la función de densidad de probabilidad de la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  combinada total. Se utilizan las ecuaciones (1) a (4) para hallar la relación entre el porcentaje de tiempo de rebasamiento (o indisponibilidad  $p_u$  y  $p_d$ ) y la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  asociada del enlace ascendente o del descendente. Estas relaciones son las funciones de distribución acumulativa (FDA) de la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  del enlace ascendente y del descendente. Tomando las derivadas de estas funciones se obtienen las funciones de densidad de probabilidad requeridas. Tras efectuar la convolución de las dos funciones de densidad de probabilidad, se obtiene la función de densidad de probabilidad total que, al integrarla, da lugar a la FDA de la  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  combinada total, la cual puede a continuación convertirse fácilmente en una disponibilidad del sistema correspondiente a un umbral de la  $C/(N+I)$  determinado.

El § 1 del Apéndice 1 del presente Anexo ofrece un ejemplo de la implementación con un algoritmo informático de estos cálculos. Evidentemente, pueden concebirse múltiples enfoques para llegar a los mismos resultados.

### 2.3.3 Disponibilidad aproximada del sistema

#### 2.3.3.1 Límite superior

Puede obtenerse un límite superior de la disponibilidad total del sistema,  $P_s$ , suponiendo que la interrupción se producirá cuando la  $C/(N+I)$  del enlace ascendente o la del enlace descendente caiga por debajo de sus respectivos umbrales QEF, definiéndose dichos umbrales como el punto en el que se producirá una interrupción a condición de que en el otro enlace no haya desvanecimiento debido a la lluvia. En este caso, la disponibilidad del sistema ( $P_s = 100 - p_s$ ) se obtiene a partir de la expresión:

$$p_s = p'_u + p'_d - \frac{p'_u p'_d}{100} \quad (5)$$

siendo:

$p_s$ : indisponibilidad total del sistema (%)

$p'_u$ : rebasamiento o indisponibilidad en el enlace ascendente: probabilidad (%) de que la  $C/(N+I)$  caiga por debajo del umbral QEF del enlace ascendente

$p'_d$ : rebasamiento o indisponibilidad en el enlace descendente: probabilidad (%) de que la  $C/(N+I)$  caiga por debajo del umbral QEF del enlace descendente.

La determinación de la disponibilidad del sistema cuando únicamente hay desvanecimiento debido a la lluvia en uno de los enlaces es un proceso complicado debido a la necesidad de considerar el desvanecimiento debido a las nubes y al centelleo que depende de la disponibilidad en el enlace total. Para el enlace de conexión, puede suponerse que el margen de la lluvia en el enlace ascendente reducirá el desvanecimiento debido a las nubes y al centelleo durante periodos de tiempo sin lluvia. Además, cuando hay lluvia en el enlace ascendente, el desvanecimiento debido a las nubes y al centelleo supondrá una contribución pequeña al desvanecimiento total de la propagación en el trayecto. Así pues, puede despreciarse el desvanecimiento debido a la lluvia y al centelleo en el enlace de conexión. No obstante, los enlaces descendentes del SRS tienen un margen inferior, de forma que ha de considerarse el desvanecimiento debido a las nubes y al centelleo. En consecuencia, se precisa un enfoque repetitivo para determinar la disponibilidad total del sistema, a fin de conocer cómo dependen de dicha disponibilidad ciertos parámetros tales como el desvanecimiento debido a las nubes y al centelleo y el aumento de la temperatura de ruido del receptor. Los Apéndices 1 y 2 a este Anexo ofrecen dicho enfoque.

### 2.3.3.2 Límite inferior aproximado

En los sistemas del SRS convencionales, la  $C/(N + I)_u$  en cielo despejado se diseña normalmente para que sea muy superior a la del enlace descendente. Aun cuando hay una gran atenuación de la propagación en el trayecto del enlace ascendente, es posible mantener la  $C/(N + I)_u$  muy por encima del umbral QEF aplicando técnicas de reducción del desvanecimiento en el enlace descendente tales como las de UPC y/o la de diversidad de emplazamientos. Por tanto, suponiendo una  $C/(N + I)_u$  mínima constante muy superior al umbral QEF y si puede despreciarse el efecto de  $p'_u$ , la indisponibilidad total del sistema,  $p_s$ , se deduce del rebasamiento o la indisponibilidad del enlace descendente ( $p_s = p'_d$ ) directamente, teniendo en cuenta la  $C/(N + I)_u$  constante.

## 3 Ejemplo

Se considera un sistema teórico para comparar los resultados de la disponibilidad del sistema obtenidos utilizando las dos metodologías que se presentan en el § 2.3.

El Cuadro 4 muestra las especificaciones de dicho sistema. En este ejemplo, se utiliza una relación portadora/interferencia interior al sistema combinada total,  $C/I_{intra}$ , constante. Los resultados sobre las características de la disponibilidad calculada se indican en el Cuadro 5 para la solución exacta y para las metodologías de aproximación aplicadas conforme al Apéndice 1. La Fig. 2 presenta la FDA del rebasamiento en el enlace descendente y en el ascendente en función de la  $C/(N + I)$ , ignorando la contribución de la  $C/I_{intra}$ , mientras que la Fig. 3 presenta la FDA de la  $C/(N + I)$  acumulada total.

## CUADRO 4

## Especificaciones del sistema

Polarización	Circular
Longitud del satélite (° E)	-130
p.i.r.e. del enlace descendente del satélite en condiciones de cielo despejado (dBW)	50
Factor de calidad del receptor del satélite, $G/T$ (dB/K)	4
Frecuencia del enlace ascendente (GHz)	17,3
Frecuencia del enlace descendente (GHz)	12,2
Factor de ajuste de la distorsión del transpondedor del satélite, $Z_1$ (dB)	0
Anchura de banda efectiva del ruido en el enlace ascendente de la portadora digital (MHz)	24
Anchura de banda efectiva del ruido en el enlace descendente de la portadora digital (MHz)	24
Umbral QEF $C/(N + I)$ (dB)	7,6
Latitud (° N), longitud (° E) de la estación de enlace de conexión	50, -90
Control de potencia en el enlace ascendente: $UPC_{máx}$ (dB) $\varepsilon$ (dB)	3 0,25
p.i.r.e. del enlace ascendente de la estación de enlace de conexión en condiciones de cielo despejado (dBW)	80
Tamaño de la antena de la estación de enlace de conexión (m)	7
Eficacia de la antena de la estación de enlace de conexión (%)	65
Latitud del terminal (° N)/longitud (° E)	60, -110
Factor de calidad del terminal, $G/T$ (dB/K) calculado a partir de la Recomendación UIT-R BO.790	12,5
Datos de la Recomendación UIT-R BO.790: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ (grados)	0,4, 0,01, 0,05
Datos de la Recomendación UIT-R BO.790: temperatura de ruido de la antena en condiciones de cielo despejado (K)	50
Datos de la Recomendación UIT-R BO.790: pérdidas de acoplamiento totales $\alpha$	1
Datos de la Recomendación UIT-R BO.790: apertura del haz a 3 dB de la antena de recepción (grados)	3,8
Datos de la Recomendación UIT-R BO.790: factor de ruido del receptor en condiciones de cielo despejado (dB)	0,91
Diámetro de la antena del terminal (cm)	45
Eficacia de la antena del terminal (%)	70
$C/I$ entre sistemas del enlace descendente en condiciones de cielo despejado, $C/I_{cd}$ (dB)	21
$C/I$ entre sistemas del enlace ascendente en condiciones de cielo despejado, $C/I_{cu}$ (dB)	25
$C/I$ interior al sistema acumulada total, $C/I_{intra}$ (dB)	18
Estación (por ejemplo, clima medio anual mundial)	Medio anual mundial

CUADRO 5

**Características de la disponibilidad calculada**

<b>Disponibilidad aproximada del sistema</b>	
Rebasamiento en el enlace ascendente, $p'_u$ (%)	0,001
Rebasamiento en el enlace descendente $p'_d$ (%)	0,2
Estadísticas anuales de la disponibilidad del sistema $P_s$ (%)	99,79
<b>Disponibilidad exacta del sistema</b>	
Estadísticas anuales de la disponibilidad del sistema $P_s$ (%)	99,774

FIGURA 2

**Rebasamiento (FDA) para el enlace ascendente y el enlace descendente**

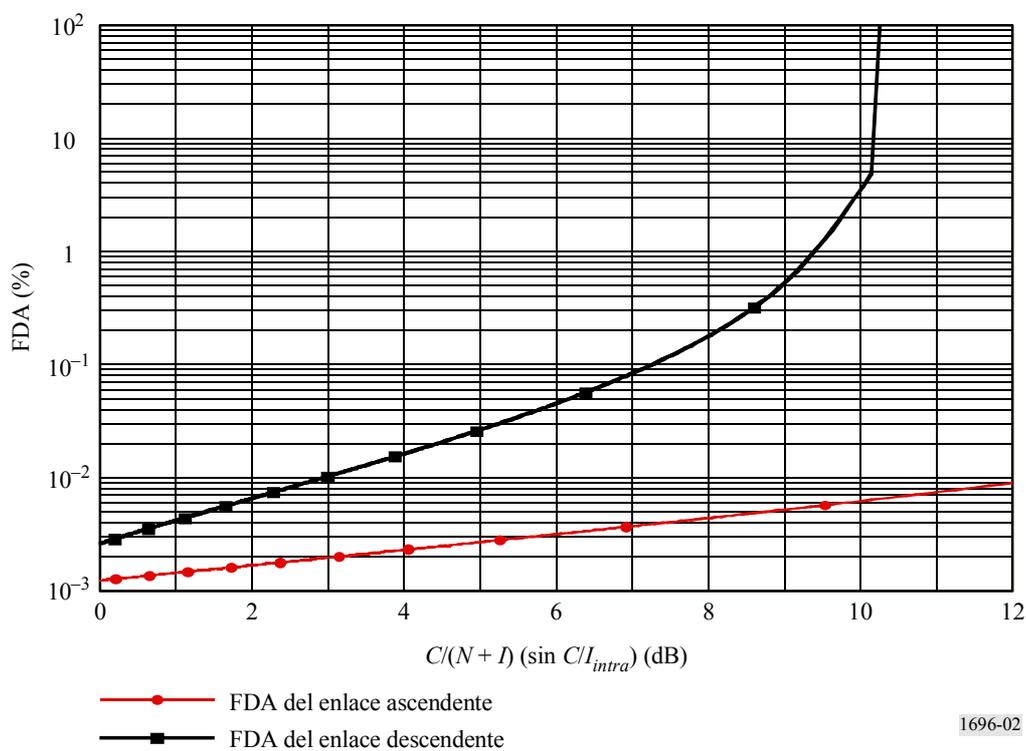
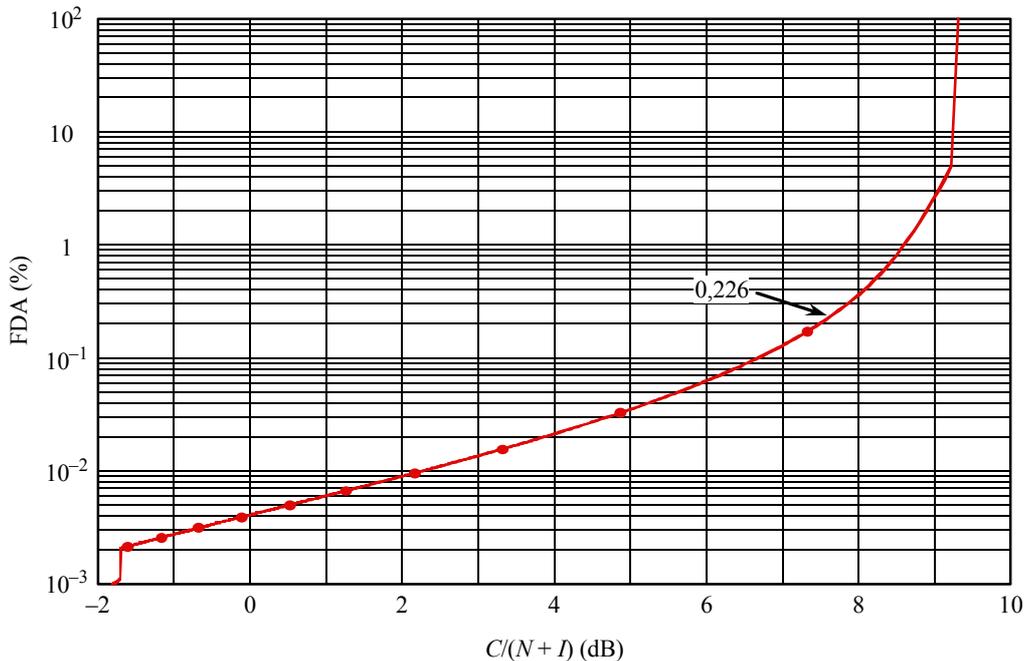


FIGURA 3  
FDA combinada total



1696-03

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Ejemplo de implementaciones de las metodologías recomendadas

Las metodologías propuestas que se describen en el § 2.3.2 y el § 2.3.3 del Anexo 1 pueden implementarse de diversas maneras. En los puntos siguientes se describe un enfoque para la implementación de cada una de estas metodologías.

#### 1 Disponibilidad exacta del sistema

El algoritmo siguiente describe un posible enfoque de implementación de la metodología de solución exacta descrita en el § 2.3.2 para determinar la disponibilidad total del sistema,  $P_s$ .

Véase que los modelos de propagación de la Recomendación UIT-R P.618-8 para el desvanecimiento debido a las nubes, la lluvia y el centelleo sólo son válidos en una gama combinada de rebasamientos ( $p_u$  o  $p_d$ ) comprendida entre 0,01% y 5%, viniendo el límite inferior impuesto por el modelo de desvanecimiento debido al centelleo. En el procedimiento siguiente, se amplía esta gama hasta sólo 0,001%, suponiendo que el desvanecimiento debido al centelleo en 0,01% se mantiene para porcentajes inferiores.

*Paso 1:* Se hace  $p_u = p_d = 0,001\%$  y se calculan las  $C/(N + I)_u$  y  $C/(N + I)_d$ , respectivamente, utilizando las ecuaciones (1a), (1b), (2), (3), (4a) y (4b). Se denominan a éstas  $Y_u = C/(N + I)_u$  e  $Y_d = C/(N + I)_d$ . Representan la relación  $C/(N + I)$  mínima de interés en cada enlace.

*Paso 2:* Se hace  $p_u = p_d = 5\%$  y se calculan las  $C/(N + I)_u$  y  $C/(N + I)_d$ , respectivamente, utilizando las mismas ecuaciones que en el *Paso 1*. Se denominan a éstas  $X_u = C/(N + I)_u$  y  $X_d = C/(N + I)_d$ . Representan la  $C/(N + I)$  máxima de interés en cada enlace.

*Paso 3:* Se hace  $X = \max(X_u, X_d)$  e  $Y = \min(Y_u, Y_d)$ .

*Paso 4:* Se define el número de puntos,  $M$ , en las funciones de densidad de probabilidad requeridas en el enlace ascendente y en el enlace descendente.  $M$  debe elegirse de forma que se alcance la resolución requerida de la función de densidad de probabilidad final. Como orientación,  $M > \text{redondeo} [(X-Y)/0,1]$  debe ser suficiente, siendo el redondeo ( $x$ ) el siguiente entero mayor que  $x$ .

*Paso 5:* Se definen  $M$  valores igualmente espaciados en el intervalo  $[10^{-X/10} - dw, 10^{-Y/10}]$  y se les denomina  $w(n)$ , donde para  $n = M - j + 1$  se obtiene  $w(M - j + 1) = 10^{-Y/10} - (j - 1) * dw$ ;  $dw = (10^{-Y/10} - 10^{-X/10}) / (M - 2)$  y  $j = 1, \dots, M$ . El grupo  $w(n)$  define los valores de  $\left(\frac{n+i}{c}\right)$  en los que se definirán las funciones de densidad de probabilidad del enlace ascendente y del enlace descendente.

*Paso 6:* Para  $j = 1$  a  $M$

si  $w(j) < 10^{-X_u/10}$

se hace  $P_u(j) = 1$ ;

también, si  $w(j) > 10^{-Y_u/10}$

se hace  $P_u(j) = 0$ ;

y también,

se calcula la  $A_{pu}(p_u)$  requerida para que  $C/(N + I)_u = -10 \log w(j)$ ;

se calcula la  $p_u$  asociada a esta  $A_{pu}$  utilizando la Recomendación UIT-R P.618;

se hace  $P_u(j) = p_u/100$ ;

fin.

Fin del bucle.

Al final de este paso, se tiene un grupo  $P_u(j)$  que define la FDA para los valores  $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$  de interés (es decir;  $w(j)$ ).

*Paso 7:* Se repite el *Paso 5* para hallar  $P_d(j)$  dadas  $C/(N + I)_d$ ,  $X_d$  e  $Y_d$ . Al final de este paso se tiene un grupo  $P_d(j)$  que define la FDA para los valores  $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$  de interés (es decir;  $w(j)$ ).

*Paso 8:* A la función de densidad de probabilidad de  $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$  se la denomina  $f_u(\cdot)$  y a la de  $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$  se la denomina  $f_d(\cdot)$  que se definen por:

$$f_u(j-1) = \text{Prob} \left\{ \left( \frac{n+i}{c} \right)_u = w(j-1) \right\} = P_u(j-1) - P_u(j) \quad j = 2, 3, \dots, M$$

$$f_d(j-1) = \text{Prob} \left\{ \left( \frac{n+i}{c} \right)_d = w(j-1) \right\} = P_d(j-1) - P_d(j) \quad j = 2, 3, \dots, M$$

*Paso 9:* Se define  $k = m + j - 1$ , y  $z(k) = w(m) + w(j)$  para  $m, j = 1, \dots, M - 1$  y entonces  $k = 1, 2, \dots, 2 * M - 3$ .

*Paso 10:* Se aplica la convolución de cada una de las funciones de densidad de probabilidad, de la siguiente manera:

$$f(z(k)) = \sum_{j=1}^{M-1} f_u(j) f_d(k-j) \quad k = 1, \dots, 2 * M - 3$$

Véase que si  $n$  no está en el intervalo  $[1, M - 1]$ , entonces  $f_u(n) = 0$  y  $f_d(n) = 0$ .

*Paso 11:* La función de densidad de probabilidad de la  $C/(N + I)$  combinada total viene dada por:

$$\text{Prob}(C/(N + I) = -10 \log z(k)) = f(z(k))$$

*Paso 12:* La disponibilidad del sistema,  $P_s$ , que es la probabilidad de que la  $C/(N + I)$  combinada total sea superior a un umbral,  $Z$ , viene dada por:

$$P_s = \sum_{k=1}^L f(z(k))$$

donde  $L$  es tal que  $-10 \log z(L) \geq Z$  y  $-10 \log z(L + 1) < Z$ .

## 2 Disponibilidad aproximada del sistema

El algoritmo siguiente describe un enfoque posible de implementación de la metodología de aproximación descrita en el § 2.3.3 del Anexo 1 para determinar un límite superior y un límite inferior aproximado de la disponibilidad total del sistema,  $P_s$ .

### 2.1 Límite superior

El enfoque consiste en resolver en primer lugar  $p'_d$  y a continuación  $p'_u$ , suponiendo que cuando en el enlace de interés haya atenuación debida a la lluvia, en el otro enlace no.

Para resolver  $p'_d$ , se determina la  $C/(N + I)_d$  objetivo requerida para cumplir el umbral QEF de la  $C/(N + I)$  en el enlace ascendente con cielo despejado, a partir de la cual se obtiene un límite superior de las pérdidas de propagación del enlace descendente con las cuales el sistema puede aproximarse al enlace descendente. Con un algoritmo repetitivo se determina entonces el aumento de la temperatura de ruido del receptor en función de la indisponibilidad del sistema y las pérdidas de propagación en el enlace descendente, llegando a una solución convergente para la indisponibilidad total del sistema que, al aplicarla al enlace ascendente en condiciones de cielo despejado y al enlace descendente con desvanecimiento debido a la lluvia, se cumpla el umbral QEF de la  $C/(N + I)$ .

Para resolver  $p'_u$ , se calcula una primera estimación de la indisponibilidad total del sistema  $p_s$ , suponiendo un enlace descendente ideal, es decir, sin desvanecimiento debido a la lluvia, a las nubes o al centelleo. Se vuelve entonces a calcular repetitivamente  $p'_u$  suponiendo la  $p_s$  anterior para determinar el efecto del desvanecimiento debido a las nubes y al centelleo en la  $C/(N + I)_d$  que afecta a la  $p'_u$ . Esta repetición acaba convergiendo en una solución final para  $p_s$  y  $p'_u$ .

Tal como se ha mencionado en el punto anterior, los modelos de propagación de la Recomendación UIT-R P.618-8 para el desvanecimiento debido a las nubes, la lluvia y el centelleo sólo son válidos a lo largo de una gama combinada de rebasamientos ( $p_u$  o  $p_d$ ) comprendida entre 0,01% y 5%, viniendo el límite inferior impuesto por el modelo de desvanecimiento debido al centelleo. En el procedimiento siguiente, se amplía esta gama hasta sólo 0,001% suponiendo que el desvanecimiento debido al centelleo en 0,01% se mantiene para porcentajes inferiores.

### 2.1.1 Cálculo de $p'_d$

Con el algoritmo siguiente se calcula  $p'_d$ .

*Paso 1:* Utilizando las ecuaciones (1) a (4), se calcula la  $C/(N + I)_d$  objetivo en la que  $C/(N + I) =$  umbral QEF de la  $C/(N + I)$ , suponiendo condiciones de cielo despejado en el enlace ascendente ( $A_{pu} = 0$ ;  $UPC = 0$ ).

*Paso 2:* Se hace  $p_d = 0,001\%$  y se calcula  $A_{pd}$  y  $dT$ .

*Paso 3:* Se calcula la  $C/(N + I)_d$  utilizando los valores anteriores de  $A_{pd}$  y  $dT$ .

*Paso 4:* Si la  $C/(N + I)_d$  es superior a la  $C/(N + I)_d$ , se hace  $p'_d = p_d = 0$  y se saltan los pasos restantes.

*Paso 5:* Se calcula el valor de  $A_{pd}$  que cumple la  $C/(N + I)_d$  objetivo, suponiendo que  $dT = 0$ .

*Paso 6:* Utilizando la Recomendación UIT-R P.618, se determina la indisponibilidad del enlace descendente,  $p_d$  asociada a  $A_{pd}$ .

*Paso 7:* Se calcula el valor  $dT$  asociado a  $p_d$ .

*Paso 8:* Se vuelve a calcular la  $A_{pd}$  que cumpla la  $C/(N + I)_d$  dado el valor anterior de  $dT$ .

*Paso 9:* Se repiten los pasos de 6 a 8 hasta que la  $A_{pd}$  recalculada converja con un error aceptable (delta) en cuyo punto  $p'_d = p_d$  se ha resuelto para el escenario de enlace ascendente con cielo despejado y enlace descendente con desvanecimiento debido a la lluvia.

### 2.1.2 Cálculo de $p'_u$ y $p_s$

Tal como se ha examinado, puede dejarse de lado para estos cálculos el desvanecimiento en el enlace ascendente debido a la lluvia y al centelleo. En ese caso  $A_u = A_{ru}$ .

*Paso 1:* Utilizando las ecuaciones (1) a (4), se calcula la  $A_{ru}$  para la que la  $C/(N + I) =$  umbral QEF  $C/(N + I)$  suponiendo que: no hay desvanecimiento debido a la lluvia en el enlace descendente ( $A_{rd} = A_{cd} = A_{sd} = 0$ ) y un control de potencia en el enlace ascendente máximo ( $UPC = UPC_{máx}$ ), de ser aplicable. Este valor inicial de  $A_{ru}$  representa un límite superior de la atenuación debida a la lluvia en el enlace ascendente con la que el sistema puede establecer el enlace.

*Paso 2:* Utilizando la Recomendación UIT-R P.618 se determina la indisponibilidad del enlace ascendente,  $p_u$ , asociada a  $A_{ru}$ . Esto representa un límite inferior de la indisponibilidad.

*Paso 3:* Se calcula la indisponibilidad total,  $p_s$ , utilizando la ecuación (5) con  $p'_u = p_u$  y la  $p'_d$  calculada en el § 2.1 anterior.

*Paso 4:* Se hace que  $p_d$  sea una fracción de  $p_s$  en la primera repetición o se aumenta  $p_d$  en esta fracción a partir de ahí. La fracción está relacionada con la precisión requerida. A modo de ejemplo, se fija que la fracción sea diez veces inferior a la precisión deseada. Teniendo presente que el procedimiento es válido para porcentajes de rebasamiento superiores a 0,001%, el tamaño del escalón no puede ser inferior a 0,001%.

*Paso 5:* Se calcula la  $A_{pd}$  y la  $C/(N + I)_d$  para  $p_d$  y sin atenuación debida a la lluvia en el enlace descendente ( $A_{rd} = 0$ ), es decir, incluyendo únicamente el desvanecimiento debido a la absorción gaseosa, las nubes y el centelleo.

*Paso 6:* Se vuelve a calcular la  $A_{ru}$  para la que la  $C/(N + I) =$  umbral QEF de la  $C/(N + I)$ , dada la  $C/(N + I)_d$  del Paso 5.

*Paso 7:* Utilizando la Recomendación UIT-R P.618, se determina la nueva indisponibilidad del enlace ascendente,  $p_u$  dada la  $A_{ru}$ .

*Paso 8:* Se vuelve a calcular  $p_s$  haciendo  $p'_u = p_u$  y utilizando la  $p'_d$  calculada en el § 2.1 anterior.

*Paso 9:* Se repiten los Pasos 4 a 8 hasta que la  $p_s$  recalculada converja con un error aceptable (es decir, que cambie menos que su error aceptable con las repeticiones sucesivas).

## 2.2 Límite inferior aproximado

Con el algoritmo siguiente se implementa una metodología descrita en el § 2.3.3.2 para determinar un límite inferior aproximado de la disponibilidad total del sistema,  $P_s$ .

*Paso 1:* Utilizando las ecuaciones (1), (3) y (4), se calcula la  $C/(N + I)_d$  objetivo en la que  $C/(N + I) =$  umbral QEF de la  $C/(N + I)$ , suponiendo una  $C/(N + I)_u$  muy superior al umbral QEF.

*Paso 2:* Se hace  $p_d = 0,001\%$  y se calcula  $A_{pd}$  y  $dT$ .

*Paso 3:* Se calcula la  $C/(N + I)_d$  utilizando los valores anteriores de  $A_{pd}$  y  $dT$ .

*Paso 4:* Si la  $C/(N + I)_d$  es superior a la  $C/(N + I)_d$ , se hace  $p'_d = 0$  y se saltan los pasos restantes hasta el Paso 10.

*Paso 5:* Se calcula el valor de  $A_{pd}$  que cumple la  $C/(N + I)_d$  objetivo, suponiendo que  $dT = 0$ .

*Paso 6:* Utilizando la Recomendación UIT-R P.618, se determina la indisponibilidad del enlace descendente,  $p_d$  asociada a  $A_{pd}$ .

*Paso 7:* Se calcula el valor  $dT$  asociado a  $p_d$ .

*Paso 8:* Se vuelve a calcular la  $A_{pd}$  que cumpla la  $C/(N + I)_d$  dado el valor anterior de  $dT$ .

*Paso 9:* Se repiten los Pasos de 6 a 8 hasta que la  $A_{pd}$  recalculada converja con un error aceptable (delta).

*Paso 10:* La disponibilidad total del sistema es  $P_s = 100 - p_d$ .

## Apéndice 2 al Anexo 1

### Información adicional sobre la disponibilidad de los sistemas digitales multiprograma del SRS en las bandas de 12 GHz

#### 1 Efecto de los datos de propagación actuales en la disponibilidad de los sistemas digitales del SRS

En este punto se abordan los datos actuales de propagación, así como su efecto en la disponibilidad de los enlaces digitales del SRS.

Se efectuó un análisis para determinar el efecto de los datos de la propagación de las Recomendaciones UIT-R P.618 y UIT-R P.837<sup>3</sup> sobre la disponibilidad de las portadoras digitales SRS transmitidas a ciudades de las Regiones 1, 2 y 3. Una diferencia importante con los datos anteriores de propagación es la utilización de curvas continuas para los índices de precipitación basados en los datos medidos en emplazamientos reales, a diferencia de los índices de precipitación basados en un número discreto de zonas hidrometeorológicas.

Al efectuar el análisis, se utilizó la fórmula siguiente:

$$(C/N)_p = (C/N)_{cs} - A_p$$

siendo:

- $(C/N)_p$ : nivel de la relación portadora/ruido rebasada durante el  $p\%$  del tiempo
- $(C/N)_{cs}$ : nivel de la relación portadora/ruido con cielo despejado
- $A_p$ : nivel de la atenuación no rebasada durante el  $p\%$  del tiempo
- $P$ : porcentaje de tiempo utilizado para especificar la disponibilidad objetiva.

En el caso de las Regiones 1 y 3, se suponía que se transmitían los enlaces digitales del SRS con las características del Cuadro 6 a más de 600 ciudades importantes desde emplazamientos orbitales correspondientes al Plan de las Regiones 1 y 3. La posición orbital asociada a las transmisiones a cada ciudad se escogió de forma que fuese la de la asignación correspondiente del Plan de la administración.

Se suponía que, para la Región 2, se transmitían las portadoras digitales del SRS con las características del Cuadro 7 a 158 ciudades.

Los índices de pluviosidad obtenidos para cada una de las portadoras se representan en las Figs. 4 a 7. Estas Figuras indican índices de pluviosidad comprendidos entre 1 mm/h y 159,44 mm/h.

Se obtuvieron las  $C/N$  rebasadas para diversos porcentajes de tiempo que variaban entre 99,9% y 99% y los Cuadros 8 y 9 indican la distribución estadística de los niveles de la  $C/N$  alcanzados durante diversos porcentajes de tiempo. La distribución en los Cuadros 8 y 9 muestra que aproximadamente el 90% de las portadoras cumplen una disponibilidad del 99,86% (99,5% del mes más desfavorable) con los niveles inferiores de la  $C/N$ . Para una p.i.r.e. media en una zona de servicio, se espera que pueda cumplir una disponibilidad del 99,86% un porcentaje incluso superior.

---

<sup>3</sup> Estos cálculos se basan en versiones anteriores de las Recomendaciones UIT-R P.618 y UIT-R P.837, es decir, se utilizaba el modelo de lluvia de la Recomendación UIT-R P.618-6 y el de la Recomendación asociada UIT-R P.837-2.

CUADRO 6

**Características nominales de las asignaciones digitales  
del Plan SRS de las Regiones 1 y 3**

p.i.r.e. mínima en la zona de servicio (dBW)	55,9 <sup>(1)</sup>
Banda de frecuencias (GHz)	12
Diámetro de la antena del receptor (cm)	60
Ganancia de la antena del receptor (dBi)	35,5

<sup>(1)</sup> Equivalente a una p.i.r.e. máxima nominal = 58,9 dBW.

CUADRO 7

**Características de los sistemas digitales del ejemplo que pueden  
implementarse con asignaciones del Plan de la Región 2**

p.i.r.e. (dBW)	55,5
Banda de frecuencias (GHz)	12,5
Diámetro de la antena del receptor (cm)	45
Ganancia de la antena del receptor (dBi)	33,5
Ángulo de elevación (grados)	40

CUADRO 8

**Distribución estadística de los niveles de la C/N alcanzados durante diversos  
porcentajes de tiempo para enlaces digitales del SRS de las Regiones 1 y 3**

Nivel de la C/N rebasado	Porcentaje de portadoras para las que se excede el nivel de la C/N durante el 99,9% del tiempo	Porcentaje de portadoras para las que se excede el nivel de la C/N durante el 99,7% del tiempo	Porcentaje de portadoras para las que se excede el nivel de la C/N durante el 99,5% del tiempo
6	95,1	100	100
7	90,5	100	100
8	85,2	99,7	100
9,6	71,6	95,5	100
10	68,1	92,8	99,7

CUADRO 9

Distribución estadística de los niveles de la C/N alcanzados durante diversos porcentajes de tiempo para enlaces del SRS de la Región 2

Nivel de la C/N rebasado	Porcentaje de portadoras para las que se excede el nivel de la C/N durante el 99,9% del tiempo	Porcentaje de portadoras para las que se excede el nivel de la C/N durante el 99,7% del tiempo	Porcentaje de portadoras para las que se excede el nivel de la C/N durante el 99,5% del tiempo
5	81,6	100	100
7	67,1	91,8	100
7,6	63,3	88,6	100
8	62,0	84,2	98,7
9	53,8	74,7	89,9
9,6	50,0	69,0	84,2

FIGURA 4

Índices de pluviosidad asociados a las portadoras 1 a 212

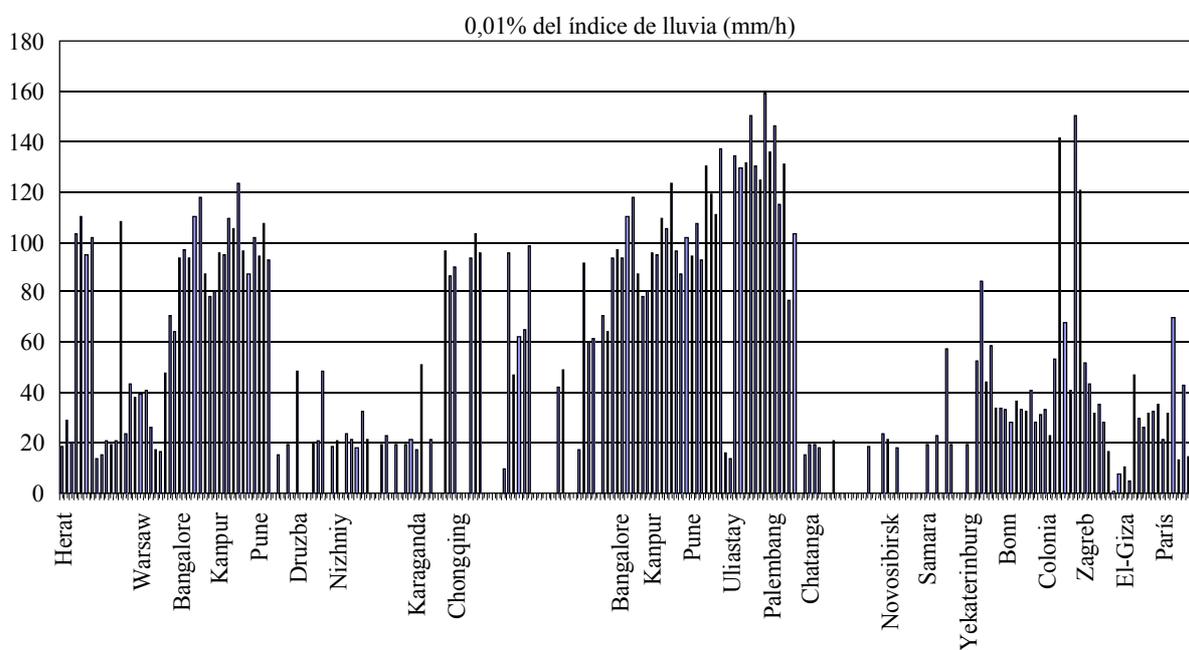


FIGURA 5  
Índices de pluviosidad asociados a las portadoras 213 a 435

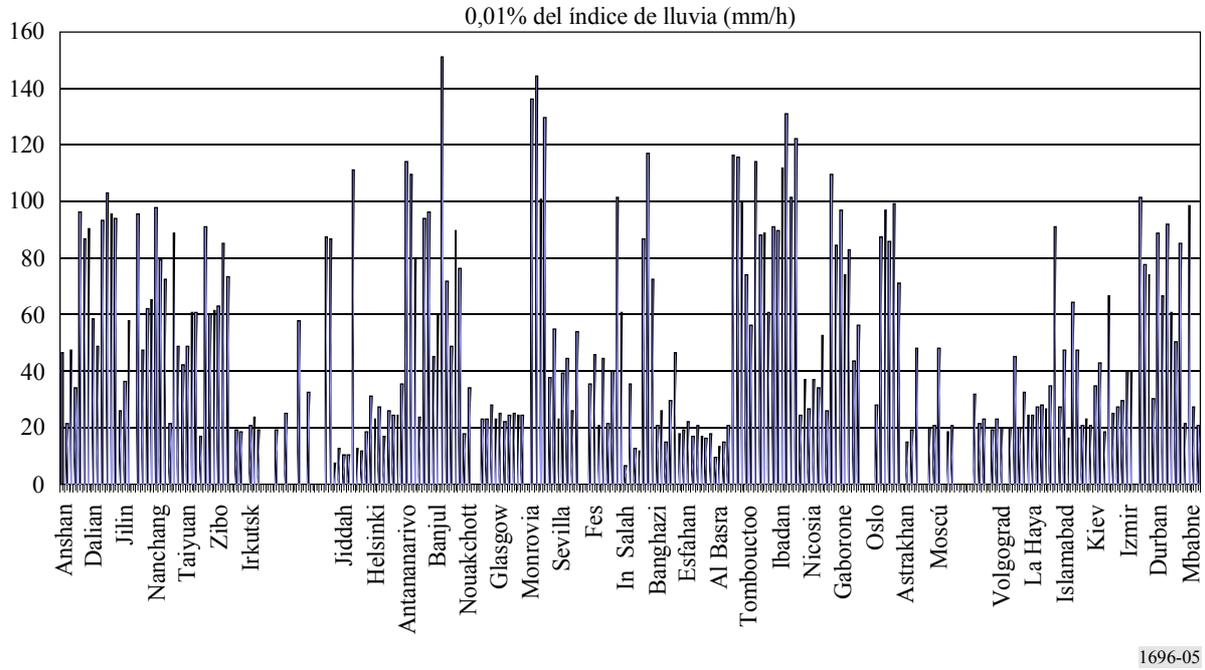


FIGURA 6  
Índices de pluviosidad asociados a las portadoras 436 a 617

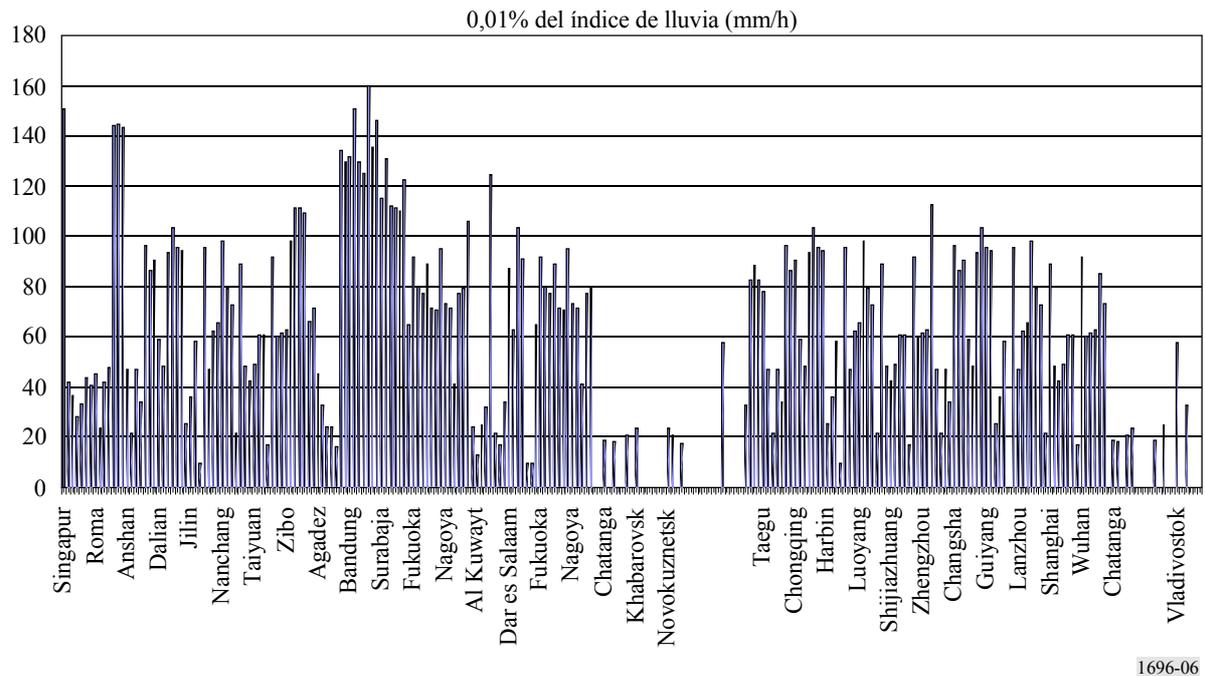
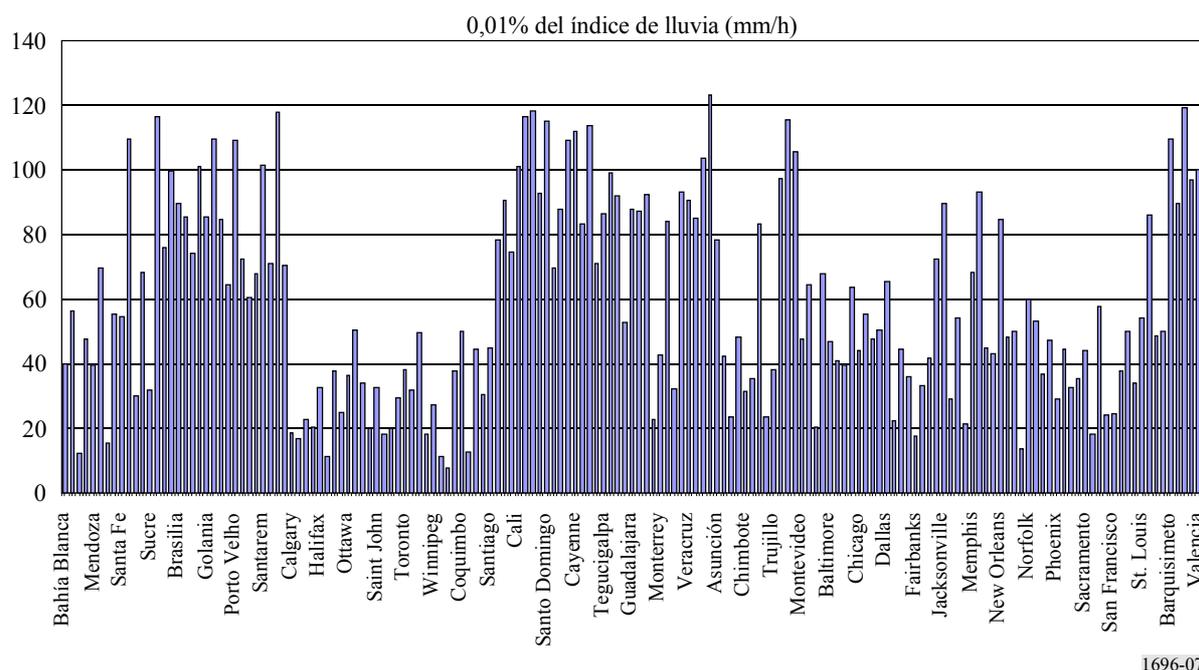


FIGURA 7  
Índices de pluviosidad asociados a portadoras de la Región 2



1696-07

**2 Ejemplo de características de disponibilidad para diversas ciudades de las Regiones 1 y 3**

El Cuadro 11 muestra la disponibilidad del mes más desfavorable de enlaces digitales para diversas ciudades de las Regiones 1 y 3, utilizando los parámetros indicados en el Cuadro 10. Los esquemas de modulación considerados son los MDP-4 y MDP-8.

CUADRO 10

**Ejemplo de características de un sistema digital del SRS de las Regiones 1 ó 3**

Zona	Extremo de la cobertura	En las proximidades al eje de puntería
p.i.r.e. (dBW)	55,9	58,4
Banda de frecuencias (GHz)	12	
Diámetro de la antena del receptor (cm)	60	45
Ganancia de la antena del receptor (dBi)	35,5	33,0
C/N (cielo despejado) (anchura de banda 27 MHz) <sup>(1)</sup> (dB)	18,2	18,2

<sup>(1)</sup> Emplazamiento de recepción: Ginebra, posición orbital: 18,8° W, atenuación debida a los gases atmosféricos: 0,2 dB, medidas de puntería de la antena receptora: 0,3 dB, factor de ruido del receptor: 1,0.

Véase que todos los enlaces con modulación MDP-4 del Cuadro 11 exceden una disponibilidad del 99,5% del mes más desfavorable.

El Cuadro 11 compara el aumento de la duración de las interrupciones con incrementos de 0,5 dB de la  $C/N$  requerida. Este tipo de cuadro es útil para investigar un límite de la degradación total de la señal deseada en presencia de interferencia, ruido y lluvia.

CUADRO 11

**Disponibilidad del mes más desfavorable del ejemplo de enlaces digitales de radiodifusión directa por satélite (DBS) para ciudades de las Regiones 1 y 3\***

		Porcentaje/minutos de interrupción durante el mes más desfavorable (Aumento (%) respecto a la $C/I$ básica de 7,6 dB)			
Modulación	$C/N$ requerida (dB)	Moscú	Londres	París	Estambul
MDP-4	7,6	0,023/10 (-)	0,025/11 (-)	0,022/10 (-)	0,019/8 (-)
	7,6 + 0,5	0,026/11 (13)	0,029/13 (16)	0,025/11 (14)	0,022/10 (16)
	7,6 + 1,0	0,031/13 (35)	0,034/15 (36)	0,029/13 (32)	0,026/11 (37)
	7,6 + 1,5	0,036/16 (57)	0,040/17 (60)	0,034/15 (55)	0,030/13 (58)
	7,6 + 2,0	0,042/18 (83)	0,047/20 (88)	0,040/17 (82)	0,036/16 (89)
		Porcentaje/minutos de interrupción durante el mes más desfavorable (Aumento (%) respecto a la $C/N$ básica de 11 dB)			
Modulación	$C/N$ requerida (dB)	Moscú	Londres	París	Estambul
MDP-8	11,0	0,068/29 (-)	0,076/33 (-)	0,064/28 (-)	0,057/25 (-)
	11,0 + 0,5	0,082/35 (21)	0,091/39 (20)	0,077/33 (20)	0,068/29 (19)
	11,0 + 1,0	0,099/43 (46)	0,110/48 (45)	0,093/40 (45)	0,082/35 (44)
	11,0 + 1,5	0,120/52 (76)	0,135/58 (78)	0,113/49 (77)	0,100/43 (75)
	11,0 + 2,0	0,148/64 (118)	0,166/72 (118)	0,139/60 (117)	0,122/53 (114)

CUADRO 11

**Disponibilidad del mes más desfavorable del ejemplo de enlaces digitales de radiodifusión directa por satélite (DBS) para ciudades de las Regiones 1 y 3\***

		Porcentaje/minutos de interrupción durante el mes más desfavorable (Aumento (%)) respecto a la C/N básica de 7,6 dB (MDP-4) u 11,0 dB (MDP-8)			
Modulación	C/N requerida (dB)	Tokio	Kagoshima	Seúl	Bangkok
MDP-4	7,6	0,080/35 (-)	0,109/47 (-)	0,032/14 (-)	0,231/100 (-)
	7,6 + 0,5	0,091/39 (14)	0,123/53 (13)	0,037/16 (16)	0,263/114 (14)
	7,6 + 1,0	0,103/44 (29)	0,140/60 (28)	0,043/19 (34)	0,299/129 (29)
	7,6 + 1,5	0,118/51 (48)	0,159/69 (46)	0,050/22 (56)	0,341/147 (48)
	7,6 + 2,0	0,136/59 (70)	0,182/79 (67)	0,058/25 (81)	0,390/168 (66)
MDP-8	11,0	0,205/89 (-)	0,272/118 (-)	0,090/39 (-)	0,574/248 (-)
	11,0 + 0,5	0,240/103 (17)	0,318/137 (17)	0,106/46 (18)	0,662/286 (15)
	11,0 + 1,0	0,283/122 (38)	0,373/161 (37)	0,127/55 (41)	0,765/330 (33)
	11,0 + 1,5	0,336/145 (64)	0,440/190 (62)	0,152/66 (69)	0,885/382 (54)
	11,0 + 2,0	0,403/174 (97)	0,525/227 (93)	0,185/80 (106)	1,026/443 (79)

\* Se supone que el satélite que radia a cada ciudad está situado en la posición orbital de su asignación del Plan. Se supone que las pérdidas de puntería de la antena de recepción son de 0,3 dB. Se utilizaron las Recomendaciones UIT-R P.676-5, UIT-R P.836 y UIT-R P.1510 para calcular la atenuación debida a los gases atmosféricos. Se utilizaron las Recomendaciones UIT-R P.618-7 y UIT-R P.837-3 para calcular la atenuación debida a la lluvia.

### 3 Modulación distinta de la MDP-4

En la Recomendación UIT-R BO.1516 y en la respuesta a la Carta Circular CR/116 se demuestra que se utilizarán no sólo la MDP-2 sino también las MDP-8 y MDP-2 para los enlaces digitales de la DBS. Las mejoras técnicas conducirán a una mayor utilización de esquemas de gran eficacia espectral (por ejemplo, MDP-8, MAQ-16, modulación por desplazamiento de fase y amplitud 16 (MDPA-16), etc.). La metodología para obtener la disponibilidad de los sistemas con modulación distinta de la MDP-4 es la misma que la examinada en el Anexo 1. A medida que se adopten ampliamente los esquemas de modulación MDP-8 y otros distintos del MDP-4, se prevé ampliar el Cuadro 2 del Anexo 1.