

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1062-4

Característica de error admisible para el trayecto digital ficticio de referencia por satélite por debajo de 15 GHz

(Cuestión UIT-R 75-3/4)

(1994-1995-1999-2005-2007)

Cometido

El servicio fijo por satélite (SFS) desempeña un importante cometido para garantizar la prestación fiable de comunicaciones digitales internacionales. Debido a su integración con las facilidades terrenales, el enlace de satélite debería diseñarse con la idea de que atienda a necesidades compatibles con los sistemas terrenales. La Recomendación UIT-T G.826 especifica objetivos de calidad de funcionamiento aplicables a un salto de satélite en la parte internacional de un trayecto digital ficticio de referencia (TDFR). En respuesta a dichos objetivos, la presente Recomendación proporciona plantillas de diseño en lo que concierne a la probabilidad de bits erróneos (PBE) o la proporción de de bits erróneos (BER) claramente conformes con los requisitos de la Recomendación UIT-T G.826.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los satélites que funcionan en el servicio fijo por satélite (SFS) tienen un cometido importante en la prestación de comunicaciones digitales internacionales fiables;
- b) que la calidad de funcionamiento del enlace por satélite debe ser suficiente para cumplir los objetivos globales de funcionamiento de extremo a extremo y los objetivos de calidad de servicio para el usuario final;
- c) que en general la calidad de funcionamiento del enlace por satélite es independiente de la distancia;
- d) que la Recomendación UIT-R S.614 especifica los objetivos de calidad de funcionamiento de los enlaces por satélite que cumplen los objetivos especificados en la Recomendación UIT-T G.821;
- e) que, en la Recomendación UIT-T G.826 el UIT-T ha especificado la característica de error para los trayectos digitales ficticios de referencia (TDFR) y las conexiones ficticias de referencia (XFR);
- f) que al definir los criterios de característica de error es necesario tener en cuenta todos los mecanismos previsibles que pueden producir errores, especialmente las condiciones de propagación que varían en función del tiempo y la interferencia,

observando

- a) que la Recomendación UIT-R S.1429 – Objetivos de característica de error debidos a la interferencia entre las redes de los sistemas del SFS OSG y no OSG para trayectos digitales ficticios de referencia que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores por sistemas que utilizan frecuencias inferiores a 15 GHz; especifica la característica de error admisible debido a la interferencia entre los distintos sistemas de satélites y que la Recomendación UIT-R S.1323 –

Máximos niveles de interferencia admisible en una red de satélites (servicio fijo por satélite SFS)/satélites geoestacionarios (OSG), SFS/no OSG y enlaces de conexión del servicio móvil por satélite (SMS)/no OSG del SFS provocada por otras redes codireccionales del SFS por debajo de 30 GHz; especifica la forma de calcular los márgenes de funcionamiento para tener en cuenta el desvanecimiento y la interferencia,

recomienda

1 que en el futuro y, siempre que sea posible, los enlaces por satélite existentes del SFS se diseñen de modo que cumplan, al menos, las especificaciones para un salto por satélite en el tramo internacional indicadas en la Recomendación UIT-T G.826. En la Nota 1 se dan ejemplos de plantillas derivadas de los parámetros de la Recomendación UIT-T G.826;

2 que en el Anexo 1 se expone una metodología que puede emplearse para generar la plantilla necesaria de probabilidad de bits erróneos (PBE) (véase la Nota 4) que se especificó en la Nota 1. La misma metodología puede usarse para obtener la plantilla de la Nota 2 para la velocidad de 155 Mbit/s;

NOTA 1 – Para cumplir totalmente los requisitos de la Recomendación UIT-T G.826, la PBE dividida por el promedio de errores por ráfaga (PBE/α , véase el § 3 del Anexo 1) a la salida (por ejemplo en los dos extremos de una conexión bidireccional) de un TDFR por satélite que forma parte de un tramo internacional de una conexión o trayecto, no debe exceder, durante el tiempo total (incluido el mes más desfavorable) los valores establecidos en las plantillas definidas por los valores que se dan en el Cuadro 1 y también por las plantillas de PBE que se dan en la Fig. 4.

3 que las Notas siguientes deben considerarse como parte de la Recomendación:

NOTA 2 – Aunque la Nota 1 asegura el cumplimiento total de la Recomendación UIT-T G.826, para ciertos servicios puede necesitarse o ser deseable un modelo más estricto.

CUADRO 1

Velocidad (Mbit/s)	Porcentaje del tiempo total (mes más desfavorable)	PBE/α
0,064	0,2	$1,0 \times 10^{-4}$
	10,0	$1,0 \times 10^{-8}$
1,5	0,2	7×10^{-7}
	2,0	3×10^{-8}
	10,0	5×10^{-9}
2,0	0,2	7×10^{-6}
	2,0	2×10^{-8}
	10,0	2×10^{-9}
6,0	0,2	8×10^{-7}
	2,0	1×10^{-8}
	10,0	1×10^{-9}
51,0	0,2	4×10^{-7}
	2,0	2×10^{-9}
	10,0	2×10^{-10}
155	0,2	1×10^{-7}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-10}

En este caso la PBE a la salida (por ejemplo, en cualquiera de los dos extremos de una conexión bidireccional) de un TDFR por satélite que funcione a una velocidad de hasta 155 Mbit/s, no debe exceder, durante el tiempo total (mes más desfavorable) la plantilla de diseño definida por los valores dados en el Cuadro 2:

CUADRO 2

Porcentaje del tiempo total (mes más desfavorable)	PBE/ α	Para $\alpha = 10$ (PBE)
0,2	1×10^{-7}	1×10^{-6}
2	1×10^{-9}	1×10^{-8}
10	1×10^{-10}	1×10^{-9}

NOTA 3 – El TDFR mencionado en esta Recomendación se especifica en la Recomendación UIT-R S.521.

NOTA 4 – Las relaciones de PBE indicadas en las Notas 1 y 2 podrían estimarse midiendo la proporción de bits erróneos (BER) durante un periodo de tiempo suficientemente largo para asegurar que proporcionan una estimación adecuada de la PBE. En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.614 figura un método para medir las BER en función del porcentaje de tiempo.

NOTA 5 – Con objeto de aplicar de forma sencilla esta Recomendación, los valores de los objetivos indicados en las Notas 1 y 2 se dan como tiempo total y representan los límites de un modelo de la característica de PBE que utiliza el método descrito en el Anexo 1. Para cumplir los objetivos dados en las Notas 1 y 2, se han excluido del cálculo de dichos objetivos los errores que aparecen durante el tiempo de indisponibilidad. En la Nota 7 se explica la relación entre el tiempo de disponibilidad y el tiempo total. Los objetivos de las PBE de la Nota 1 no son los únicos para cumplir los requisitos de la Recomendación UIT-T G.826. El diseñador puede utilizar otras plantillas de PBE cuando proceda, siempre que satisfagan los requisitos de la Recomendación UIT-T G.826.

NOTA 6 – La aplicación primaria de esta Recomendación será en los sistemas de satélite que funcionan por debajo de 15 GHz. La extensión de los requisitos de calidad de funcionamiento indicados en la presente Recomendación a sistemas que funcionan a frecuencias más altas requiere ulterior estudio.

NOTA 7 – Se pasa al estado de indisponibilidad después de un periodo de 10 s con muchos errores (SME) consecutivos. Estos 10 s se consideran parte del tiempo de indisponibilidad. Se vuelve al estado de disponibilidad después de un periodo de 10 s consecutivos que no contengan SME y los 10 s se consideran parte del tiempo de disponibilidad. Se pueden determinar los valores umbrales de indisponibilidad para una PBE, de modo que se alcance el estado de indisponibilidad con una probabilidad = 0,5 como se ilustra en la Fig. 3.

NOTA 8 – Los objetivos indicados en las Notas 1 y 2 se indican en porcentajes del mes más desfavorable. Estos porcentajes mensuales corresponden a los siguientes porcentajes anuales:

- 10% del mes más desfavorable 4,0% del año;
- 2% del mes más desfavorable 0,6% del año;
- 0,2% del mes más desfavorable 0,04% del año.

NOTA 9 – Para cumplir las Notas 1 y 2 a frecuencias superiores a 10 GHz, puede ser conveniente utilizar medidas para contrarrestar el desvanecimiento que incluyan la codificación adaptativa con corrección de errores hacia adelante (FEC), el control de potencia o la diversidad de emplazamientos. En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.522 figura información sobre el funcionamiento con diversidad de emplazamientos.

NOTA 10 – El método preferido para verificar la calidad de funcionamiento de trayectos digitales por satélite se basa en mediciones en servicio. Para estas mediciones se utilizarán esquemas de detección de errores en bloque que se relacionan con el tamaño y la estructura inherentes al bloque del sistema de transmisión. La FEC, la aleatorización, y la codificación diferencial influyen en la interpretación de las mediciones (véase el § 3 del Anexo 1).

NOTA 11 – La característica de error descrita en las Notas 1 y 2 se ha elaborado tomando como base la utilización de un TDFR en la porción internacional del enlace (por ejemplo, de cabecera internacional conmutada a cabecera internacional conmutada). Son posibles otras aplicaciones del TDFR en la conexión (por ejemplo, de central de extremo a central de extremo) y los objetivos de característica de error pueden ajustarse en consecuencia.

NOTA 12 – Los métodos descritos en la presente Recomendación pueden aplicarse al diseño de enlaces por satélite en redes privadas. Los objetivos de calidad de funcionamiento deberán acordarse normalmente entre el operador de la red y el usuario de la red a través del acuerdo sobre el nivel de servicio (SLA, *service level agreement*) especificado en la Recomendación UIT-T E.800.

NOTA 13 – Los objetivos de calidad de funcionamiento se cumplirán para la velocidad de transmisión requerida y no necesariamente para cualquier velocidad superior creada para soportar la multiplexación o la corrección de errores. Por ejemplo, si la velocidad de transmisión sobre un enlace vía satélite es de 6 Mbit/s y la velocidad de transmisión acordada que se ha especificado en el SLA es de 2 Mbit/s, se aplicarán los objetivos para la transmisión a 2 Mbit/s.

Anexo 1

1 Consideraciones generales relativas a la Recomendación UIT-T G.826: historia, definiciones, parámetros y objetivos

Los requisitos de la Recomendación UIT-T G.826 se indican como bloques con errores y no como errores de bits individuales.

El objetivo de esta especificación es poder verificar el cumplimiento de los requisitos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826 en servicio. La especificación de la calidad de funcionamiento como errores de bloque en vez de errores en los bits tiene consecuencias importantes para los sistemas donde los errores tienden a producirse en grupos, como es el caso de los sistemas que utilizan aleatorización y FEC. El bloque utilizado en la citada Recomendación UIT-T G.826 es el grupo de bits contiguos que normalmente constituyen el bloque o trama de supresión inherente del sistema de transmisión que se emplea.

La Recomendación UIT-T G.826 – Parámetros y objetivos de las características de error de extremo a extremo para conexiones y trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante; se refiere a dos tipos de sistema de transporte en detalle y puede ampliarse a otros tipos si es necesario. Estos dos tipos son:

- la jerarquía digital plesiócrona (PDH, *plesiochronous digital hierarchy*) desde 64 kbit/s hasta la velocidad primaria; y
- la jerarquía digital síncrona (JDS, *synchronous digital hierarchy*) desde la velocidad primaria hasta 3 500 Mbit/s.

La incorporación de velocidades inferiores a la primaria se realizó en 2002 para facilitar el desarrollo a estas velocidades. Sin embargo, para mantener la estabilidad en el gran número de

sistemas PDH instalado se acordó no modificar la Recomendación UIT-T G.821 que se aplica a estos sistemas.

En la terminología JDS un circuito de extremo a extremo se denomina TRAYECTO.

En la terminología PDH un circuito de extremo a extremo se denomina CONEXIÓN.

La calidad de funcionamiento del sistema de transporte se especifica mediante los parámetros denominados segundos con errores (ES, *errored seconds*) y SME tanto en PDH como en JDS, teniendo este último sistema un parámetro adicional denominado errores de bloque que proporciona una mayor resolución a las velocidades de transmisión más elevadas. Estos bloques tienen una duración mucho más breve de un segundo.

Un bloque JDS, cuyo tamaño depende de la velocidad de transmisión, es un conjunto de bits consecutivos que pueden no ser contiguos si el bloque sirve para unir un límite de contenedor, por ejemplo.

1.1 Definiciones de la Recomendación UIT-T G.826

1.1.1 Sucesos de característica de error para trayectos

– *Bloque con errores (EB)*

Un bloque en el cual uno o más bits son erróneos.

– *Segundo con errores (ES)*

Un periodo de un segundo con uno o más bloques con error.

– *Segundo con muchos errores (SME)*

Un periodo de 1 s que contiene $\geq 30\%$ de bloques con errores o al menos un defecto (véase la definición de defecto en la Recomendación UIT-T G.826).

Obsérvese que los SME constituyen un subconjunto de los ES.

– *Error de bloque de fondo (BBE, background block error)*

Un EB que no se produce como parte de un SME.

1.1.2 Sucesos de características de error para conexiones

– *Segundos con errores (ES)*

Periodo de 1 s en el que uno o más bits son erróneos o durante el cual se detecta una pérdida de señal o una señal de indicación de alarma.

– *Segundos con muchos errores (SMS)*

Periodo de 1 s que tiene una proporción de bits erróneos $\geq 10^{-3}$.

1.2 Definición de los parámetros

Las características de error deben evaluarse sólo durante el estado de disponibilidad de trayecto a las conexiones. Los criterios de entrada/salida en el estado de indisponibilidad se definen en la Nota 7 y en el Anexo A a la Recomendación UIT-T G.826:

– *Tasa de segundos con errores (ESR, errored second ratio)*

La relación ES/segundos totales en el tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.

- *Tasa de segundos con muchos errores (SESR, severely errored seconds ratio)*
La relación segundos con muchos errores/segundos totales en el tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.
- *Tasa de errores de bloque de fondo (BBER, background block error ratio)*
La relación EB/bloques totales durante un intervalo de medición fijo, excluidos todos los bloques durante los SME y el tiempo de indisponibilidad.

1.3 Bloques de supervisión

El Cuadro 3 muestra el tamaño del bloque y el número de bloques/s para distintas velocidades de transmisión.

CUADRO 3
**Relación entre velocidad binaria, tamaño de bloque
y número de bloques por segundo**

Velocidad binaria (Mbit/s)	Tamaño del bloque (bits)	Número de bloques/s
1,544	4 632	333
2,048	2 048	1 000
6,312	3 156	2 000
44,736	4 760	9 398
51,84	6 480	8 000
155,52	19 440	8 000

1.4 Objetivos de calidad de funcionamiento

Los objetivos de extremo a extremo definidos en la Recomendación UIT-T G.826 se reproducen para mayor facilidad en el Cuadro 4. Los objetivos de calidad de funcionamiento se indican en función de la velocidad binaria del sistema de transmisión. Se indican también las gamas de tamaños de bloque acomodados en estas velocidades binarias. Como se menciona anteriormente, el tamaño de bloque estará asociado con la estructura de trama del sistema de transmisión. Estos objetivos se especifican para el tiempo de disponibilidad.

CUADRO 4

**Objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo para un TDFR
o una XFR internacional de 27 500 km de la Recomendación UIT-T G.826**

Velocidad (Mbit/s)	De 64 kbit/s a la velocidad primaria ⁽¹⁾	1,5 a 5	>5 a 15	>15 a 55	>55 a 160	>160 a 3 500
Bits/bloque	No aplicable	800-5 000	2 000-8 000	4 000-20 000	6 000-20 000	15 000-30 000 ⁽²⁾
ESR	0,04	0,04	0,05	0,075	0,16	⁽³⁾
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	No aplicable	$2 \times 10^{-4(4)}$	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

⁽¹⁾ No es necesario aplicar estos objetivos a los equipos diseñados antes de 2003. Los objetivos de calidad de funcionamiento para tales equipos aparecen en la Recomendación UIT-T G.821.

⁽²⁾ Como está actualmente definido, VC-4-4c (Recomendación UIT-T G.707) es un trayecto de 601 Mbit/s con un tamaño de bloque de 75 168 bits/bloque. Como este tamaño de bloque cae fuera de la gama recomendada para trayectos de 160-3 500 Mbit/s, la calidad de funcionamiento de dichos trayectos VC-4-4c también cae fuera de este Cuadro. El objetivo de la BBER para VC-4-4c con el tamaño de bloque de 75 168 bits es 4×10^{-4} .

⁽³⁾ Los objetivos de la ESR tienden a perder su significado a velocidades binarias elevadas y, por consiguiente, no se especifican para trayectos que funcionan por encima de 160 Mbit/s. Sin embargo, a efectos de mantenimiento, debe realizarse una supervisión de los ES.

⁽⁴⁾ Para sistemas diseñados antes de 1996 el objetivo de la BBER es de 3×10^{-4} .

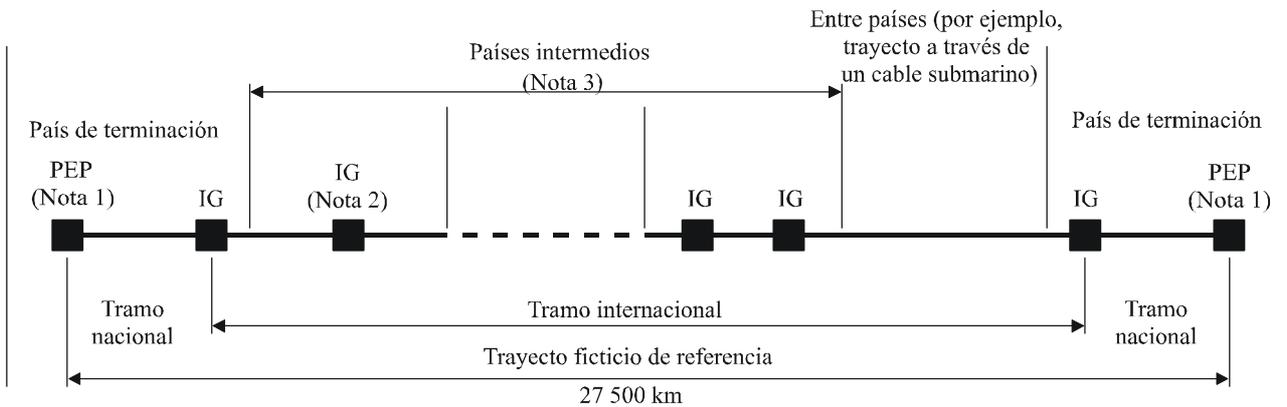
Las conexiones y los trayectos digitales que funcionan a las velocidades binarias cubiertas por esta Recomendación pueden ser incorporados por sistemas de transmisión que funcionan a velocidades binarias más elevadas. Tales sistemas deben diseñarse y realizarse para objetivos que soportarán los objetivos de extremo a extremo de sus tributarios, actuales y previstos. Suponiendo una distribución de errores aleatoria, el mero hecho de satisfacer los objetivos indicados en el Cuadro 1/G.826 para los sistemas de velocidades binarias más elevadas debe asegurar que todos los tributarios también alcanzarán sus objetivos.

1.5 Distribución de los objetivos de extremo a extremo entre tramos del trayecto

Los objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo se distribuyen entre los tramos internacional y nacional de un TDFR utilizando los principios de atribución de objetivos indicados en el § 6.2 de la Recomendación UIT-T G.828 (véase la Fig. 1).

FIGURA 1

TDFR



IG: Pasarela internacional

PEP: Punto extremo del trayecto

Nota 1 – Si un trayecto termina en la IG, sólo se aplica la atribución al tramo internacional.

Nota 2 – Se pueden definir una o dos pasarelas internacionales (entrada o salida) por cada país intermedio.

Nota 3 – En esta Recomendación se han supuesto cuatro «países intermedios» para el caso terrenal y un salto por satélite.

1062-01

1.6 Atribuciones para satélites

En los sistemas de transporte de comunicaciones que funcionan en cualquiera de las velocidades binarias contempladas por la Recomendación UIT-T G.826, por encima o por debajo de la velocidad primaria, independientemente de la distancia real cubierta, un salto por satélite en el tramo internacional recibe una atribución del 35% de todos los objetivos de extremo a extremo.

Si un enlace por satélite cubre un tramo nacional, recibe una atribución del 42% de todos los objetivos de extremo a extremo.

Ello contrasta con las atribuciones realizadas en la Recomendación UIT-T G.821 donde son distintas para los ES y para los SES. Los satélites reciben únicamente una atribución del 20% para los ES en el tramo internacional pero el margen global de extremo a extremo del ES es superior a 0,04 y, por consiguiente, la calidad de funcionamiento requerida por el enlace del satélite es muy similar. Para los SME la atribución de los satélites es únicamente el 15% de $0,002 = 0,0003$.

Los objetivos de calidad de funcionamiento para satélites que proporcionan tramos de TDFR o XFR de 27 500 km aparecen en los Cuadros 5 y 6.

CUADRO 5

Objetivos de calidad de funcionamiento del satélite para un tramo internacional

Velocidad (Mbit/s)	0,064 a 1,5	1,5 a 5	>5 a 15	>15 a 55	>55 a 160	>160 a 3 500
ESR	0,014	0,014	0,0175	0,0262	0,056	No aplicable
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	No aplicable	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

CUADRO 6

Objetivos de calidad de funcionamiento del satélite para un tramo nacional

Velocidad (Mbit/s)	0,064 a 1,5	1,5 a 5	>5 a 15	>15 a 55	>55 a 160	>160 a 3 500
ESR	0,0168	0,0168	0,021	0,0315	0,0672	No aplicable
SESR	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084
BBER	No aplicable	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,42 \times 10^{-4}$

Si un satélite proporciona el trayecto o conexión completa de extremo a extremo se aplican los objetivos del Cuadro 4.

2 Obtención de las plantillas de PBE

El conjunto de parámetros y objetivos definidos en la Recomendación UIT-T G.826 no es adecuado para el diseño de sistemas de satélite. Debe transformarse en una PBE en función de la distribución del porcentaje de tiempo, lo que se denomina también una plantilla de PBE, de modo que cualquier sistema de satélite diseñado para satisfacer la plantilla satisfaga también los objetivos de esta Recomendación. Sin embargo, la transformación no da lugar a una plantilla única.

2.1 Probabilidad de los sucesos básicos

Se sabe que los errores de transmisión de los enlaces por satélite, aparecen en ráfagas en las que el número medio de errores por ráfaga es, entre otros factores, función del código aleatorizador y de FEC. Por consiguiente, todo modelo satisfactorio de la calidad digital de los enlaces por satélite debe tener en cuenta esta naturaleza de ráfaga. La distribución Neyman-A de contagio representa un modelo estadístico adecuado de la incidencia aleatoria de ráfagas, donde la probabilidad de que se produzcan k errores en N bits, $P(k)$, es:

$$P(k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\frac{PBE \cdot N}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{j^k}{j!} \left(\frac{PBE \cdot N}{\alpha} \right)^j e^{-j\alpha} \quad (1)$$

donde:

α : número medio de bits con error en una ráfaga de errores

PBE : probabilidad de bits erróneos.

Si $N = N_B$ es el número de bits de un bloque de datos, la probabilidad de cero errores en un bloque será:

$$P(0) = e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\left(\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha} \right)^j / j! \right) e^{-j\alpha} \cong e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \text{ para todos los valores posibles de } \alpha. \quad (2)$$

La probabilidad de que en un bloque haya error, P_{EB} , entonces viene dada por:

$$P_{EB} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\frac{PBE \cdot N_B}{\alpha}} = 1 - e^{-N_B \cdot PBE_{CRC}} \quad (3)$$

donde $PBE_{CRC} = PBE/\alpha$. La probabilidad de que haya un segundo con error, P_{ES} , puede expresarse entonces como:

$$P_{ES} = 1 - e^{-n \cdot P_{EB}} \quad (4)$$

donde n es el número de bloques/s.

Dado que la probabilidad de que haya k bloques con error en un total de n bloques, $P_{n,k}$, viene dada por:

$$P_{n,k} = \frac{n!}{(n-k)!k!} (1 - P_{EB})^{n-k} P_{EB}^k \quad (5)$$

la probabilidad de que se produzca un SES P_{SES} , es:

$$P_{SES} = \sum_{k=0,3n}^n P_{n,k} = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} P_{n,k} = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} \frac{n!}{(n-k)!k!} (1 - P_{EB})^{n-k} P_{EB}^k \quad (6)$$

2.2 Cálculo de los parámetros de la Recomendación UIT-T G.826 para un modelo determinado de distribución acumulativa de la PBE

Partiendo de la definición original para los parámetros de la Recomendación UIT-T G.826 pueden escribirse las siguientes expresiones para la ESR, la SESR y la BBER:

$$ESR = \frac{N_{ES}}{N} \quad (7)$$

$$SESR = \frac{N_{SES}}{N} \quad (8)$$

$$BBER = \frac{N_{EB}}{N_B} \quad (9)$$

donde:

N_{ES} : número de segundos con errores en el tiempo de disponibilidad

N_{SES} : número de segundos con muchos errores en el tiempo de disponibilidad

N_{EB} : número de bloques con errores en el tiempo de disponibilidad, excluyendo los segundos con muchos errores

N_B : número de bloques en el tiempo de disponibilidad, excluyendo los segundos con muchos errores

N : número total de segundos en el tiempo de disponibilidad.

A las anteriores expresiones puede aplicarse la aproximación de frecuencia relativa usual para el cálculo de probabilidades obteniéndose:

$$ESR \cong P_{ES} \quad (10)$$

$$SESR \cong P_{SES} \quad (11)$$

$$BBER \cong P_{EB} \quad (12)$$

Las anteriores probabilidades deben interpretarse como probabilidades medias en el intervalo de observación respectivo. En la práctica, esta media debe obtenerse en el tiempo. Por lo tanto, si se supone que se observa una PBE aleatoria en cada segundo, pueden definirse probabilidades dependientes del tiempo para los sucesos básicos y, a continuación, pueden calcularse sus valores medios utilizando las siguientes expresiones:

$$ESR = \frac{\int_{T_a} P_{ES}(t)dt}{T_a} \quad (13)$$

$$SESR = \frac{\int_{T_a} P_{SES}(t)dt}{T_a} \quad (14)$$

Para la BBER, a fin de considerar la exclusión de los SES, se obtiene:

$$BBER = \frac{\int_{T_a} P_{EB}(t) \frac{1 - P_{SES}(t)}{1 - SESR} dt}{T_a} \quad (15)$$

siendo T_a el tiempo de disponibilidad.

Las medias en el tiempo pueden calcularse mediante expresiones equivalentes en términos de la función de distribución acumulativa para PBE/α , definida como $F(x)$. A continuación se indica el método para calcular ESR:

$$\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{ES}(t)dt = \int_0^{PBE_{\acute{e}simo}/\alpha} P_{ES}(x)dF(x) \quad (16)$$

siendo $PBE_{\acute{e}simo}/\alpha$ el valor umbral por encima del cual se considera que el sistema está indisponible. Pueden aplicarse operaciones análogas al resto de parámetros.

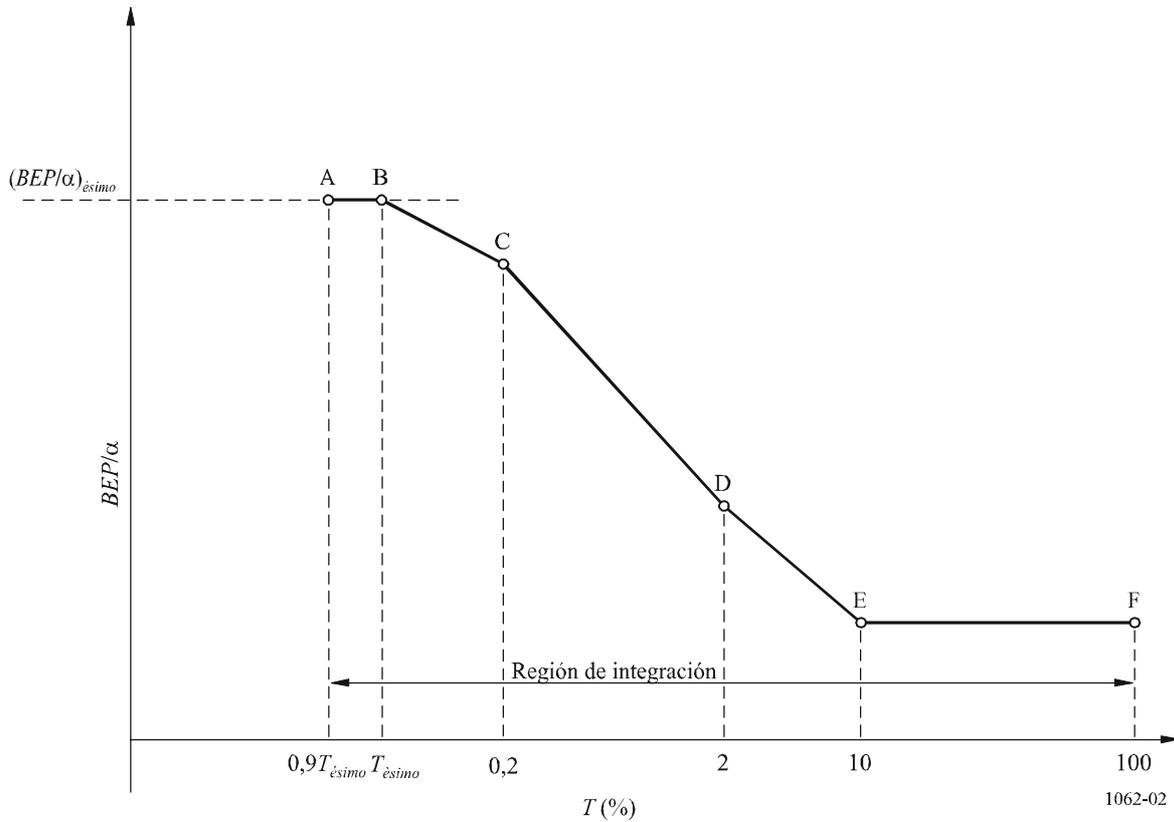
Para realizar un cálculo numérico puede utilizarse la siguiente aproximación discreta:

$$\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{ES}(t)dt \cong \sum_i P_{ES}(x_i)(F(x_{i+1}) - F(x_i)) \quad (17)$$

donde el sumatorio se realiza para valores x_i de PBE/α por debajo de $PBE_{\acute{e}simo}/\alpha$.

Puede aparecer un número infinito de distribuciones acumulativas PBE/α , $F(x)$, que satisfagan los objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación UIT-T G.826. Por consiguiente, se supone que el modelo para $F(x)$ toma la forma de la Fig. 2. Obsérvese que $F(x)$ puede expresarse como el porcentaje de tiempo durante el cual PBE/α no rebasa el valor x y, por consiguiente, $F(x)$ debe considerarse como el complemento de los valores del eje horizontal de la Fig. 2.

FIGURA 2
Forma general de la plantilla

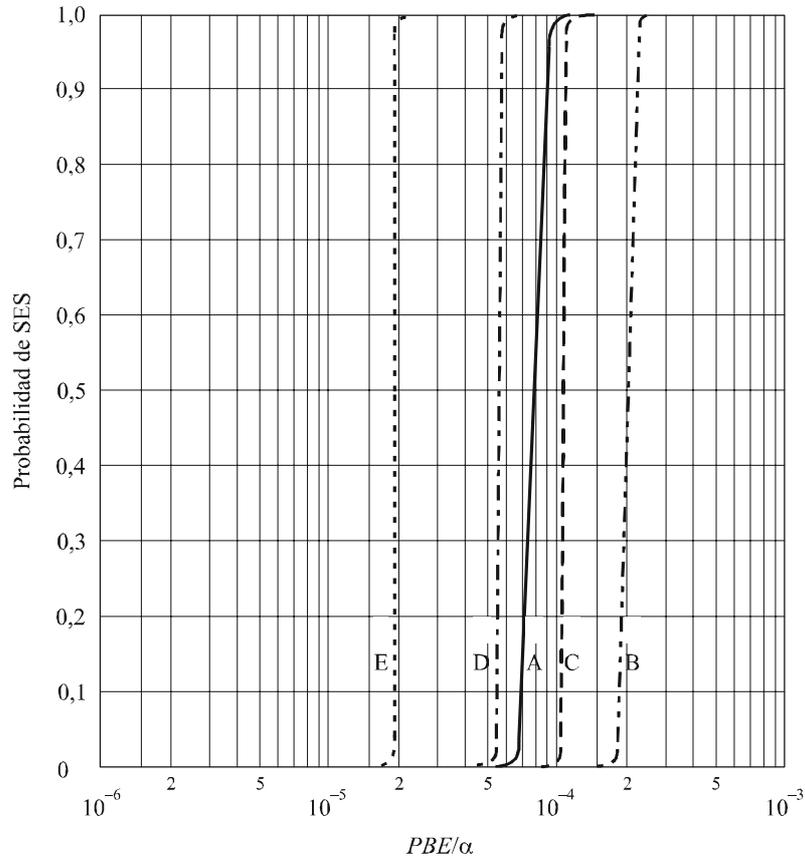


El tiempo umbral de indisponibilidad $T_{\acute{e}simo}$, está definido por $P_{SES} = 0,933$. Este valor corresponde a una probabilidad de que se produzcan diez SES consecutivos de 0,50.

La Fig. 3 y el Cuadro 7 muestran valores de $PBE_{\acute{e}simo}/\alpha$, para diversas velocidades de datos.

FIGURA 3

P_{SES} en función de PBE/α



- A: 1,5 Mbit/s
- B: 2 Mbit/s
- C: 6 Mbit/s
- D: 51 Mbit/s
- E: 155 Mbit/s

1062-03

CUADRO 7

Velocidad binaria (Mbit/s)	$PBE_{ésimo}/\alpha$
0,064	3×10^{-3}
1,544	$9,00 \times 10^{-5}$
2,048	$1,90 \times 10^{-4}$
6,432	$1,17 \times 10^{-4}$
51,84	$5,68 \times 10^{-5}$
155,52	$1,89 \times 10^{-5}$

Sin embargo, al seleccionar el valor de $PBE_{ésimo}/\alpha$ para la generación de las plantillas, debe prestarse atención al hecho de que los módems experimentan pérdidas de sincronismo en ciertos umbrales de la PBE, denominados aquí PBE_{mod} . En base a estas consideraciones, el valor de la relación $PBE_{ésimo}/\alpha$ que debe utilizarse viene dado por la fórmula:

$$PBE_{ésimo}/\alpha = \text{mín} (PBE_{ésimo}/\alpha \text{ del Cuadro 7}; PBE_{mod}/\alpha)$$

Para la mayoría de los módems actualmente en servicio, la PBE_{mod} es aproximadamente 1×10^{-3} .

Este método dará como resultado un número infinito de plantillas que cumplen los objetivos de calidad de la Recomendación UIT-T G.826. Por consiguiente, para definir una plantilla y determinar los puntos C, D, E y F de la misma (véase la Fig. 2) se utiliza el proceso siguiente:

Paso 1: Se fijan los valores de la plantilla para el 100%, 10%, 2% y 0,2% del tiempo (puntos C, D, E y F).

Paso 2: Se determina el valor de $PBE_{ésimo}/\alpha$.

Paso 3: Se elige un valor de tiempo de umbral de indisponibilidad, $T_{ésimo}$ ($T_{ésimo} < 0,2\%$).

Paso 4: Se supone una línea recta entre los puntos B y C.

Paso 5: Se calculan ESR, SESR, BBER integrando entre $0,9 T_{ésimo}$ y 100% (véase la Nota 1).

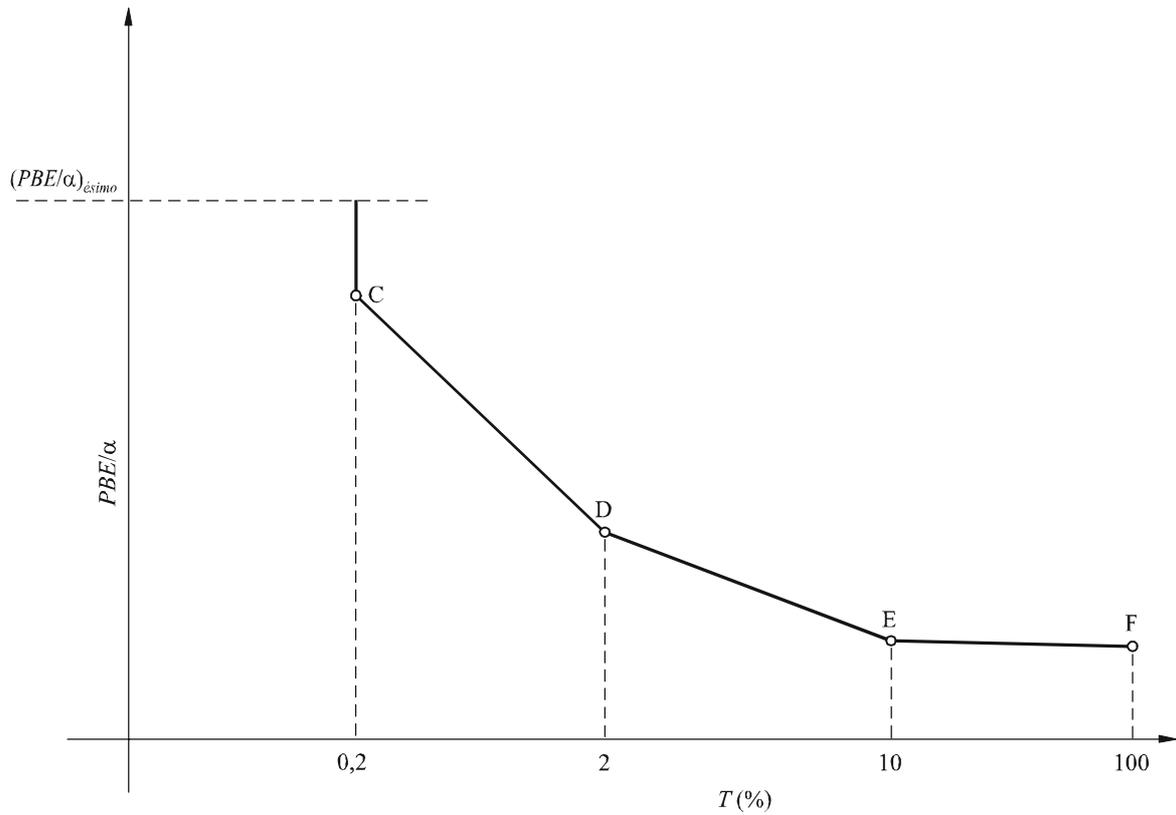
NOTA 1 – En base a los resultados de la Recomendación UIT-R S.579 sobre casos de atenuación de la propagación que no dan lugar a un tiempo de indisponibilidad, se utilizó un factor de disponibilidad de la propagación del 10% para obtener estos modelos. Así pues, se incorporó al tiempo de disponibilidad el 10% de $T_{ésimo}$ para incluir los casos en que la PBE es inferior a $PBE_{ésimo}$ pero se recupera en menos de 10 s.

Paso 6: Se selecciona un nuevo valor de $T_{ésimo}$ y se repiten los Pasos 4 y 5 hasta que se hallan los valores máximos de ESR, SESR y BBER para cualquier valor $T_{ésimo} < 0,2\%$ del tiempo.

Si se satisfacen los objetivos en cuanto a los ESR, SESR y BBER de los Cuadros 5 ó 6 para todos los valores de $T_{ésimo} < 0,2\%$, se considerará que el modelo definido por los puntos C, D, E y F cumple los requisitos definidos por esta Recomendación. Además, este proceso garantiza que se obtiene un tiempo total de indisponibilidad del enlace menor que 0,2%.

Como consecuencia del proceso iterativo que tiene lugar en los Pasos 4, 5 y 6, cualquier línea recta entre los puntos B y C, pudiendo hallarse B en cualquier lugar entre el 0% y el 0,2% del tiempo, cumplirá los objetivos definidos por esta Recomendación y los objetivos de indisponibilidad indicados en la Recomendación UIT-R S.579. Por tanto, la forma general del modelo puede simplificarse más ampliándolo verticalmente desde el punto C, como se indica en la Fig. 4.

FIGURA 4
Plantilla simplificada



1062-04

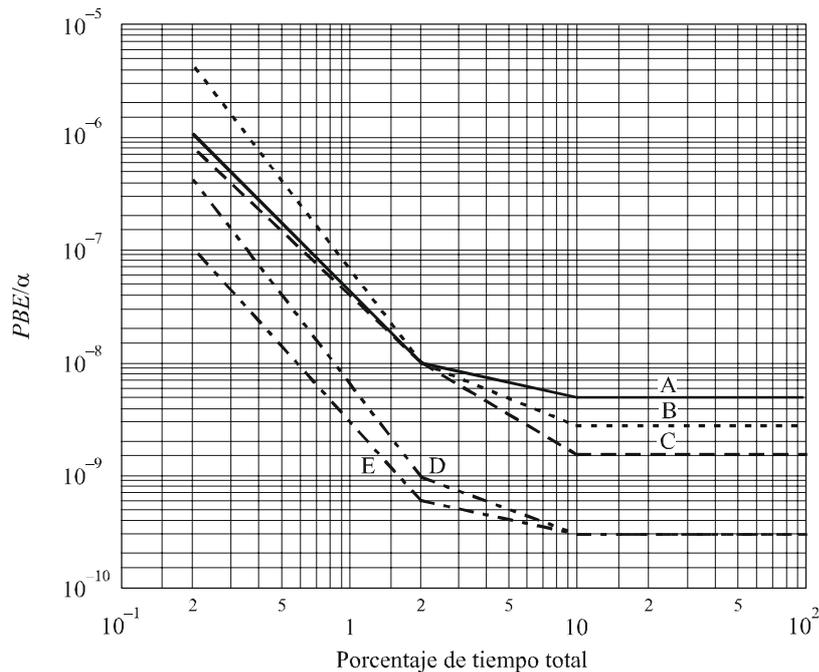
En virtud de este proceso y de las hipótesis adicionales de que:

- los valores de PBE/α correspondientes a los puntos E y F son iguales,
- los valores de PBE/α correspondientes a los puntos E y D difieren en una década,

se elaboró el ejemplo de grupo de modelos para varias velocidades binarias de transmisión que se representa en la Fig. 5.

FIGURA 5

Plantillas generadas para tramos por satélite



- A: 1,5 Mbit/s
- B: 2 Mbit/s
- C: 6 Mbit/s
- D: 51 Mbit/s
- E: 155 Mbit/s

1062-05

Al elaborar estas plantillas, se supuso que $PBE_{mod} = 1 \times 10^{-3}$. En la Fig. 5, el segundo supuesto se modificó para obtener una plantilla más suave. Por ejemplo, en la plantilla de 1,5 Mbit/s, la relación entre los valores de PBE/α correspondientes a los puntos E y D se cambió de 10 a 3.

3 Relación entre la BER y la proporción de sucesos erróneos

Como es bien sabido, los errores en los enlaces por satélite que emplean esquemas de FEC y de aleatorizador tienden a producirse en agrupaciones. La aparición de las agrupaciones, que también pueden denominarse eventos erróneos, es aleatoria y sigue la distribución de Poisson. La proporción de tasa de errores de bloque resultante es igual que la que hubiesen causado bits erróneos producidos aleatoriamente (con la distribución de Poisson) con una BER, BER/α , donde α (utilizado en el § 2.1 para tener en cuenta la naturaleza de ráfaga de los errores) es el número medio de bits erróneos dentro de una agrupación α , que también representa la relación entre la BER y la proporción de sucesos erróneos. Por ejemplo, en un canal de errores binarios aleatorio sin FEC se considera que el aleatorizador α adoptará un valor uno. No obstante, en el caso de esquemas con un orden de modulación mayor, α será superior a uno.

En un determinado sistema FEC, los valores teóricos de α pueden estimarse utilizando la distribución ponderada del sistema FEC. En el § 3.1 pueden verse los antecedentes de la obtención de los valores teóricos. Las propiedades estadísticas de las agrupaciones de errores dependen de los esquemas de FEC/aleatorizador utilizados. Se han empleado también simulaciones por computador y mediciones de distintos esquemas FEC (sin aleatorizador o codificación diferencial) para determinar el factor α . En la simulación se supuso la existencia de un canal Gaussiano de ruido blanco total. Los resultados se muestran en los § 3.2 a 3.6.

3.1 Obtención del número medio de bits erróneos en una agrupación

Dado el código de bloques sistemático (n,k) , C , la función de enumeración ponderada bien conocida (WEF) es la siguiente:

$$B^C(H) \triangleq \sum_{i=0}^n B_i H^i \quad (18)$$

donde:

B_i : número (íntegro) de palabras de código afectadas con el coeficiente de ponderación Hamming (números de unos), i

H : variable ficticia.

La WEF de un código puede utilizarse para calcular la expresión exacta de la probabilidad de los errores no detectados y un límite superior en relación con la probabilidad de palabras erróneas.

Cabe definir la función de enumeración ponderada de insumo-redundancia (IRWEF) del código, como sigue:

$$A^C(W,Z) \triangleq \sum_{w,j} A_{w,j} W^w Z^j \quad (19)$$

donde $A_{w,j}$ denota el número (íntegro) de palabras de código generado por la palabra de información de que se trate afectada con un coeficiente de ponderación Hamming w , cuyos bits de comprobación de paridad vienen afectados con un coeficiente de ponderación Hamming j , por lo cual el coeficiente global de ponderación Hamming es $w + j$. El IRWEF indica las contribuciones separadas de los bits de información y de comprobación de la paridad al coeficiente total Hamming de las palabras de código, y por lo cual proporciona información adicional sobre el perfil de ponderación (Hamming) del código.

Aplicando la expresión anterior, cabe establecer un límite superior respecto a la probabilidad de PBE, P_b :

$$P_b \leq \sum_{m=d_{min}}^{\infty} D_m P(R_m'' | C_0) \quad (20)$$

donde d_{min} es la distancia mínima del código y $P(R_m'' | C_0)$ la probabilidad de que el decodificador seleccione la palabra de código afectada con el coeficiente de ponderación, m , siempre que la palabra de código transmitida sea una palabra de código puesta íntegramente a cero, y:

$$D_m = \sum_{j+w=m} \frac{w}{k} A_{w,j} \quad (21)$$

Por consiguiente, el número medio de bits en una agrupación α , será el valor medio de w , lo que lleva a:

$$\bar{w} = \sum_{m=d_{min}}^{\infty} \sum_{m=w+j} w A_{w,j} P_m \quad (22)$$

donde P_m es la probabilidad de eventos erróneos con m errores en todos los eventos erróneos. Dado que P_m se reduce rápidamente al hacerlo m , especialmente en valores bajos de la BEP, \bar{w} puede obtenerse por aproximación mediante:

$$\bar{w} \approx \sum_{d_{min}=w+j} w A_{w,j} P_{d_{min}} \quad (23)$$

3.2 Factores para los códigos binarios BCH

Mediante la ecuación (23), cabe estimar los valores de los códigos sistemáticos BCH. En el Cuadro 8 se indica la distribución ponderada del código BCH (7,4) y la distancia mínima del código (7,4) es 3. En consecuencia, es posible estimar el valor α para el código como sigue:

$$\bar{w}_{(7,4)} = \alpha_{(7,4)} \approx 1 \times \frac{3}{7} + 2 \times \frac{3}{7} + 3 \times \frac{1}{7} \cong 1,7 \quad (24)$$

En el Cuadro 9 puede verse el valor α estimado para diferentes códigos sistemáticos BCH, y en el Cuadro 10 se comparan los resultados de la simulación relativos al código BCH (15,11) con los resultados estimados. A medida que se reduce en la proporción de bits erróneos, el valor estimado se aproxima al valor simulado.

Tratándose de códigos no sistemáticos y cuando no puede efectuarse la decodificación, aproximadamente la mitad de la palabra de información será errónea. En este caso α puede llevarse mediante aproximación a $k/2$.

CUADRO 8

Distribución ponderada del código BCH (7,4)

w	j	$A_{w,j}$
0	0	1
1	2	3
1	3	1
2	1	3
2	2	3
3	0	1
3	1	3
4	3	1

CUADRO 9

Valores teóricos estimados de α para diferentes códigos BCH

Código BCH (n,k)	α	Código ampliado (n,k)	α	Código expurgado (n,k)	α
(15,11)	2,20	(16,11)	2,75	(15,10)	2,67
(31,26)	2,52	(32,26)	3,25	(31,25)	3,23
(31,21)	3,73	(32,21)	4,56	(31,20)	4,53
(63,57)	2,06	(64,57)	2,96	(63,56)	2,96
(63,51)	4,07	(64,51)	4,50		

CUADRO 10

Comparación entre valores teóricos y simulados de α para el código BCH (15,11)

BER	α simulados	α teórico
$2,88 \times 10^{-2}$	2,60	2,2
$4,69 \times 10^{-3}$	2,37	
$5,57 \times 10^{-4}$	2,36	
$2,36 \times 10^{-5}$	2,33	

3.3 Factores aplicables a los códigos convolucionales

Cabe la posibilidad de aplicar un enfoque semejante a los códigos convolucionales. Tratándose de códigos convolucionales conocidos, en varios estudios se identifican sus distribuciones ponderadas en términos de a_d , que es el número de palabras de código de distancia d , y c_d , que es la suma de bits erróneos (coeficiente de ponderación de la información errónea) en el caso de palabras de código de distancia d . Recurriendo al método de aproximación que se utilizó respecto a los códigos binarios BCH, cabe aproximar el valor \bar{w} ($= \alpha$) para los códigos convolucionales, a $(c_{d_f})/(a_{d_f})$, donde d_f es la distancia libre del código.

En el Cuadro 11 pueden verse las distribuciones ponderadas de los códigos convolucionales que gozan de popularidad y en el Cuadro 12 se comparan los valores teóricos estimados de α y los valores simulados de α . Como se confirmó en el caso de los códigos binarios BCH, los valores estimados de α son prácticamente iguales a los valores simulados en los intervalos de proporciones bajas de bits erróneos.

CUADRO 11

Distribución ponderada de los códigos convolucionales

Velocidad de código R	Restricción longitud K	Generador (en octales)	d_f	$(a_d, d = d_f, d = d_f + 1, d = d_f + 2, \dots)$ $(c_d, d = d_f, d = d_f + 1, d = d_f + 2, \dots)$
1/2	7	133, 171	10	(11, 0, 38, 0, 193, 0, 1 331, 0, 7 275, ...) (36, 0, 211, 0, 1 404, 0, 11 633, ...)
	9	561, 753	12	(11, 0, 50, 0, 286, 0, 1 630, 0, 9 639, ...) (33, 0, 281, 0, 2 179, 0, 15 035, ...)
2/3*	7	133, 171	6	(1, 16, 48, 158, 642, 2 435, 9 174) (3, 70, 285, 1 276, 6 160, 27 128, ...)
7/8*	7	133, 171	3	(2, 42, 468, 4 939, 52 821) (14, 389, 6 792, 97 243, 1 317 944)

* Códigos perforados obtenidos a partir del código R 1/2, siendo $K = 7$.

CUADRO 12

Comparación de valores teóricos y simulados de α para códigos convolucionales

Velocidad de código R	Restricción longitud K	Generador (en octales)	d_f	α (estimado)	BER	α (simulado)
1/2	7	133, 171	10	3,27	$1,74 \times 10^{-2}$	7,21
					$1,91 \times 10^{-3}$	5,68
					$1,05 \times 10^{-4}$	3,74
					$5,05 \times 10^{-6}$	3,48
					$1,07 \times 10^{-7}$	3,00
	9	561, 753	12	3,00	$1,22 \times 10^{-2}$	13,00
					$1,77 \times 10^{-3}$	11,56
					$2,10 \times 10^{-5}$	4,38
					$4,20 \times 10^{-7}$	3,96
2/3	7	133, 171	6	3,00	$3,61 \times 10^{-2}$	8,00
					$7,86 \times 10^{-4}$	7,14
					$2,96 \times 10^{-6}$	5,32
					$2,14 \times 10^{-7}$	5,67
7/8	7	133, 171	3	7,00	$6,24 \times 10^{-2}$	9,08
					$2,68 \times 10^{-2}$	8,85
					$9,82 \times 10^{-3}$	7,77
					$1,77 \times 10^{-5}$	7,57
					$1,49 \times 10^{-6}$	7,29

3.4 Factores relativos a los códigos concatenados

Para un código concatenado dotado de un código externo Reed Solomon (RS) y un código interno convolucional, los valores de α guardan relación directa con la distribución ponderada del código RS, ya que este último código es un código exterior. Los valores de α para los códigos RS pueden obtenerse basándose en la regla que se utilizó para el código binario BCH, siempre y cuando se recurra a una decodificación de probabilidad máxima. De ser así, debe determinarse la distribución ponderada binaria de los códigos RS.

El Cuadro 13 indica los valores simulados de α para los códigos RS en el esquema de codificación concatenada especificado en las Recomendaciones UIT-R BO.1724 y UIT-R S.1709. Se utiliza el código RS (204,188) abreviado a partir del código RS original (255,239). El código RS abreviado (71,55) se utiliza también cuando se trata de un tamaño de paquete distinto.

CUADRO 13

Valores simulados de α para códigos RS en el marco de codificación concatenada

Código RS (N,K)	BER	α	Código RS (N,K)	BER	α
(204,188)	$7,74 \times 10^{-3}$	12,80	(71,55)	$6,17 \times 10^{-3}$	8,47
	$5,19 \times 10^{-4}$	9,14		$2,03 \times 10^{-4}$	7,74
	$1,02 \times 10^{-6}$	8,58		$2,02 \times 10^{-7}$	7,32

3.5 Factores relativos a los códigos turbo

Cuando se trate de códigos turbo, podrá utilizarse un enfoque similar al empleado en el caso de los códigos convolucionales, ya que los primeros se basan en los segundos. En el Cuadro 14 pueden verse las distribuciones ponderadas de los códigos turbo especificadas en las Recomendaciones UIT-R BO.1724 y UIT-R S.1709, y el Cuadro 15 indica los correspondientes valores estimados de α . En el Cuadro 16 se señalan los valores de α en el caso de un tamaño de paquetes de 53 bytes. Dado que los códigos turbo utilizan un algoritmo de decodificación iterativo, los valores de α y la BER dependerán del algoritmo de decodificación y del número de iteraciones. En la simulación se ha utilizado un algoritmo de decodificación MAP de longitud máxima y se estimaron los valores de α en las iteraciones de 6 y 15. Los valores teóricos estimados en el Cuadro 15 son más bajos que los valores simulados en el Cuadro 16, ya que los primeros pueden considerarse como un límite inferior.

CUADRO 14

Distribución pondera de códigos turbo ($d_p/a_d/c_a$)

Tamaño de paquetes (bytes)	$R = 1/3$	$R = 1/2$	$R = 2/3$	$R = 3/4$	$R = 6/7$
53	31/106/954	18/159/954	11/159/901	7/10/50	4/9/27
	32/265/1643	19/159/1431	12/265/1325	8/85/375	5/194/719
	33/106/901	20/530/3551	13/1802/11342	9/486/2335	6/1228/5371
188	33/3476/3384	19/376/3384	12/188/1316	9/27/171	6/199/826
	35/376/3760	20/376/3008	14/752/5264	10/148/1025	7/1578/7269
	36/752/6392	22/752/6768	15/1504/12220	11/1462/9674	8/9144/49558

CUADRO 15

Valores α aproximados teóricamente relativos a códigos turbo

Tamaños de paquetes (bytes)	$R = 1/3$	$R = 1/2$	$R = 2/3$	$R = 3/4$	$R = 6/7$
53	9,00	6,00	5,67	5,00	3,00
	6,20	9,00	5,00	4,41	3,70
	8,50	6,70	6,29	4,80	4,37
752	9,00	9,00	7,00	6,33	4,15
	10,00	8,00	7,00	6,93	4,60
	8,50	9,00	8,13	6,62	5,42

CUADRO 16

Valores de α simulados para códigos turbo

Número de iteración	$R = 1/3$ BER/ α	$R = 2/5$ BER/ α	$R = 1/2$ BER/ α	$R = 3/4$ BER/ α	$R = 6/7$ BER/ α
6	$5,58 \times 10^{-5}/16,8$	$3,79 \times 10^{-5}/16,6$	$1,39 \times 10^{-4}/21,5$	$9,53 \times 10^{-4}/15,9$	$3,44 \times 10^{-5}/6,8$
	$9,28 \times 10^{-6}/14,0$	$5,56 \times 10^{-6}/12,8$	$2,24 \times 10^{-5}/17,1$	$3,47 \times 10^{-5}/11,3$	$2,34 \times 10^{-6}/5,2$
	$1,42 \times 10^{-6}/10,6$	$9,68 \times 10^{-7}/10,6$	$5,69 \times 10^{-7}/9,0$	$9,89 \times 10^{-7}/7,8$	$2,53 \times 10^{-7}/4,1$
15	$2,25 \times 10^{-5}/23,7$	$1,57 \times 10^{-5}/20,8$	$6,36 \times 10^{-5}/26,6$	$6,46 \times 10^{-4}/18,3$	$2,67 \times 10^{-5}/7,0$
	$3,28 \times 10^{-6}/16,5$	$2,41 \times 10^{-6}/14,5$	$9,30 \times 10^{-6}/18,9$	$1,89 \times 10^{-5}/12,2$	$1,74 \times 10^{-6}/4,8$
	$5,62 \times 10^{-7}/11,6$	$4,25 \times 10^{-7}/10,8$	$3,02 \times 10^{-7}/8,9$	$6,02 \times 10^{-7}/7,9$	$1,78 \times 10^{-7}/4,3$

3.6 Factores relativos a los códigos turbo de bloque

Los códigos turbo de bloque (BTC) son códigos resultantes que se decodifican de manera iterativa. La distancia mínima de un código resultante es el producto de las distancias mínimas de sus códigos constitutivos. Así por ejemplo, la distancia mínima del código resultante m -dimensional integrado por códigos constitutivos con una distancia mínima, d_{min} será $(d_{min})^m$. Aplicando el mismo principio, el valor de α correspondiente a un BTC α_{BTC} puede representarse como sigue:

$$\alpha_{BTC} = \alpha_{c_1} \cdot \alpha_{c_2} \cdots \alpha_{c_m} \tag{25}$$

donde α_{c_i} es el valor de α del código constitutivo i -ésimo. Los códigos binarios sistemáticos expuestos en el § 3.2 se utilizan normalmente como códigos constitutivos.

El Cuadro 17 indica el valor α_{BTC} teóricamente estimado, basándose en la ecuación (25), en la cual se suponen que forman parte del BTC los códigos constitutivos previamente utilizados. Por consiguiente, el valor α_c , que puede verse en el Cuadro 17, es el que también se indica en el Cuadro 9. En los Cuadros 18 y 19 se comparan los valores teóricos estimados y los valores simulados de BTC bidimensionales. Como se confirmó en los § 3.2 y 3.3, los valores estimados coinciden aproximadamente con los valores simulados en las gamas de BER bajas.

CUADRO 17

Valores teóricos aproximados para códigos turbo de bloque

Código ampliado (n,k)	d_{min}	α_c	α_{BTC} bidimensional	α_{BTC} tridimensional
(16,11)	4	2,75	7,56	20,80
(32,26)	4	3,25	10,56	34,33
(32,21)	6	4,56	20,79	94,82
(64,57)	4	2,96	8,76	25,93
(64,51)	6	4,50	20,25	91,13

CUADRO 18

Comparación de los valores teóricos y simulados de α para los códigos BTC (16,11) \times (16,11)

E_b/N_0 (dB)	BER	α_{BTC}	Código constitutivo	
			BER	α_c
1,0	$4,41 \times 10^{-2}$	14,50	$1,25 \times 10^{-1}$	2,82
2,0	$3,43 \times 10^{-3}$	10,35	$7,82 \times 10^{-2}$	2,88
2,5	$4,24 \times 10^{-4}$	7,46	$5,97 \times 10^{-2}$	2,52
3,0	$8,30 \times 10^{-5}$	7,25	$4,31 \times 10^{-2}$	2,82
3,5	$8,51 \times 10^{-6}$	7,31	$2,97 \times 10^{-2}$	2,99

CUADRO 19

**Comparación de valores teóricos y simulados de α
para el código BTC (32,26) \times (32,26)**

E_b/N_0 (dB)	BER	α_{BTC}	Código constitutivo	
			BER	α_c
2,0	$4,19 \times 10^{-3}$	31,57	$5,96 \times 10^{-2}$	3,88
3,0	$7,80 \times 10^{-6}$	11,21	$3,10 \times 10^{-2}$	3,33
3,3	$2,10 \times 10^{-6}$	9,76	$2,35 \times 10^{-2}$	3,15

3.7 Otros resultados de las mediciones y resumen

Las mediciones realizadas en laboratorio de transmisiones digitales de tipo INTELSAT IDR (FEC $R = 3/4$ más aleatorizador) dieron como resultado $\alpha = 10$ en la gama de BER 1×10^{-4} a 1×10^{-11} . Se determinó $\alpha = 5$ en las mismas mediciones para transmisiones digitales de tipo INTELSAT IBS (FEC $R = 1/2$ más aleatorizador).

Los resultados investigados revelan que α es una función a la distribución ponderada del esquema FEC y de la BEP. La influencia del parámetro α en el modelo de calidad de funcionamiento podrá evaluarse como sigue.

Las plantillas de las Figs. 2 y 3 se generaron utilizando $\alpha = 10$. Si, por ejemplo, no se utilizase FEC/aleatorizador ($\alpha = 1$), las plantillas serían desplazadas en una década y los requisitos de la BER serían más estrictos (en una década).

4 Conclusiones

Los resultados del estudio han mostrado que las plantillas requeridas para satisfacer los objetivos especificados en esta Recomendación que se derivan de los de la Recomendación UIT-T G.826 dependen de la velocidad de transmisión. Las plantillas de diseño dependen también de los errores que, a su vez, son influidos por el esquema de FEC/aleatorizador utilizado.

Hay que tener en cuenta también las necesidades del servicio al determinar las plantillas de diseño de error admisible que ha de recomendarse.

6 Lista de acrónimos/abreviaturas

BBE	Error de bloque de fondo (<i>background block error</i>)
BBER	Tasa de errores de bloque de fondo (<i>background block error ratio</i>)
BCH	(<i>Bose, Ray-Chaudhuri, Hocquenghem</i>)
BER	Proporción de bits erróneos
BTC	Código de turbo de bloque (<i>block turbo code</i>)
EB	Bloque con errores (<i>errored block</i>)
ESR	Tasa de segundos con errores (<i>errored second ratio</i>)
FEC	Corrección de errores hacia adelante
IDR	Velocidad intermedia de datos (<i>intermediate data rate</i>)

IG	Pasarela internacional (<i>international gateway</i>)
INTELSAT	Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite (<i>International Telecommunication Satellite Organization</i>)
IRWEF	Función de numeración ponderada insumo-redundancia (<i>input-redundancy weight enumerating function</i>)
JDS	Jerarquía digital síncrona
MAP	Máximo <i>a posteriori</i> (<i>maximum a posteriori</i>)
OSG	Órbita geoestacionaria
PBE	Probabilidad de bits erróneos (<i>bit error probability</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
RS	(<i>Reed Solomon</i>)
SE	Segundo con errores
SEI	Servicio empresarial (<i>INTELSAT business service</i>)
SESR	Tasa de segundos con muchos errores (<i>severely errored seconds ratio</i>)
SFS	Servicio fijo por satélite
SLA	Acuerdo sobre el nivel de servicio (<i>service level agreement</i>)
SME	Segundos con muchos errores
SMS	Servicio móvil por satélite
TDFR	Trayecto digital ficticio de referencia
VC	Contenedor virtual (<i>virtual container</i>)
WEF	Función de enumeración ponderada (<i>weight enumeration function</i>)
XFR	Conexión ficticia de referencia (<i>hypothetical reference connections</i>)
