

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1062-3

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

(Cuestión UIT-R 75/4)

(1994-1995-1999-2005)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los satélites que funcionan en el servicio fijo por satélite 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 – Parámetros y objetivos de las características de error de extremo a extremo para conexiones y trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante, el UIT-T ha especificado la característica de error para los trayectos digitales ficticios de referencia (TDFR) y las conexiones ficticias de referencia (HRX);
- 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 con 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;

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

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 trayecto digital ficticio de referencia (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.

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 segundos con muchos errores (SES, *severely errored seconds*) consecutivos. Estos 10 segundos se consideran parte del tiempo de indisponibilidad. Se vuelve al estado de disponibilidad después de un periodo de 10 s consecutivos que no contengan SES y los 10 segundos 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 Anexo 1, § 3).

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 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, 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) desde 64 kbit/s hasta la velocidad primaria; y
- la jerarquía digital síncrona (SDH) 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 SDH 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 SES tanto en PDH como en SDH, 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 SDH, 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, errored block)*

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 (SES)*

Un periodo de un segundo 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 SES 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 SES.

1.1.2 Sucesos de características de error para conexiones

– *Segundos con errores (ES)*

Periodo de un segundo 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 (SES)*

Periodo de un segundo 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)*

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 SES 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 HRX 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	2×10^{-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 160-3500 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} .

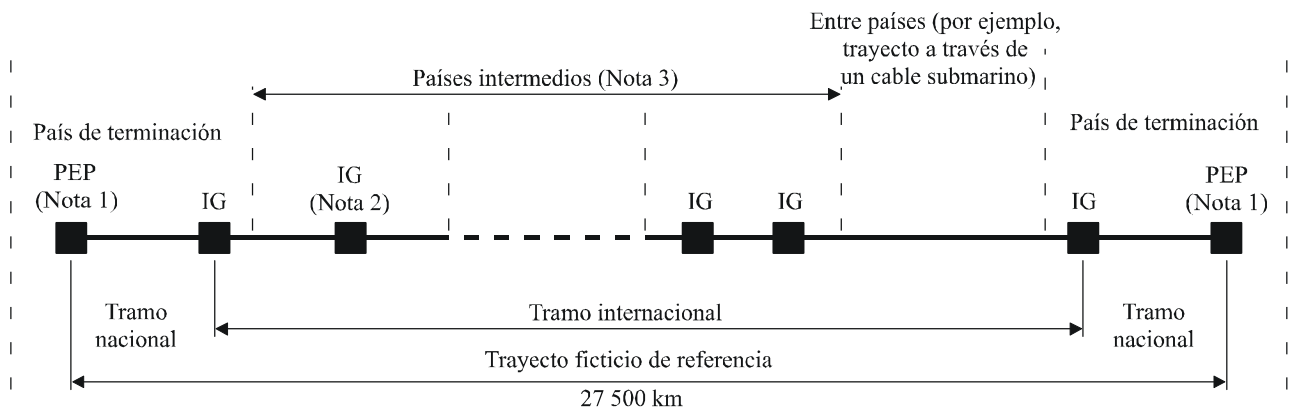
Las conexiones y los trayectos digitales que funcionan a las velocidades binarias cubiertas por esta Recomendación pueden ser incorporados por sistemas de transmisión que funcionan a velocidades binarias más elevadas. Tales sistemas deben diseñarse y realizarse para objetivos que soportarán los objetivos 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

Trayecto digital ficticio de referencia (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 SES 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 HRX 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:

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

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:

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

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

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

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

$$P_{ES} = 1 - e^{n \cdot P_{EB}}$$

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:

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

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

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

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:

$$ESR = \frac{N_{ES}}{N}$$

$$SESR = \frac{N_{SES}}{N}$$

$$BBER = \frac{N_{EB}}{N_B}$$

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:

$$ESR \cong P_{ES}$$

$$SESR \cong P_{SES}$$

$$BBER \cong P_{EB}$$

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

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

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

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

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

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 SES:

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

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.

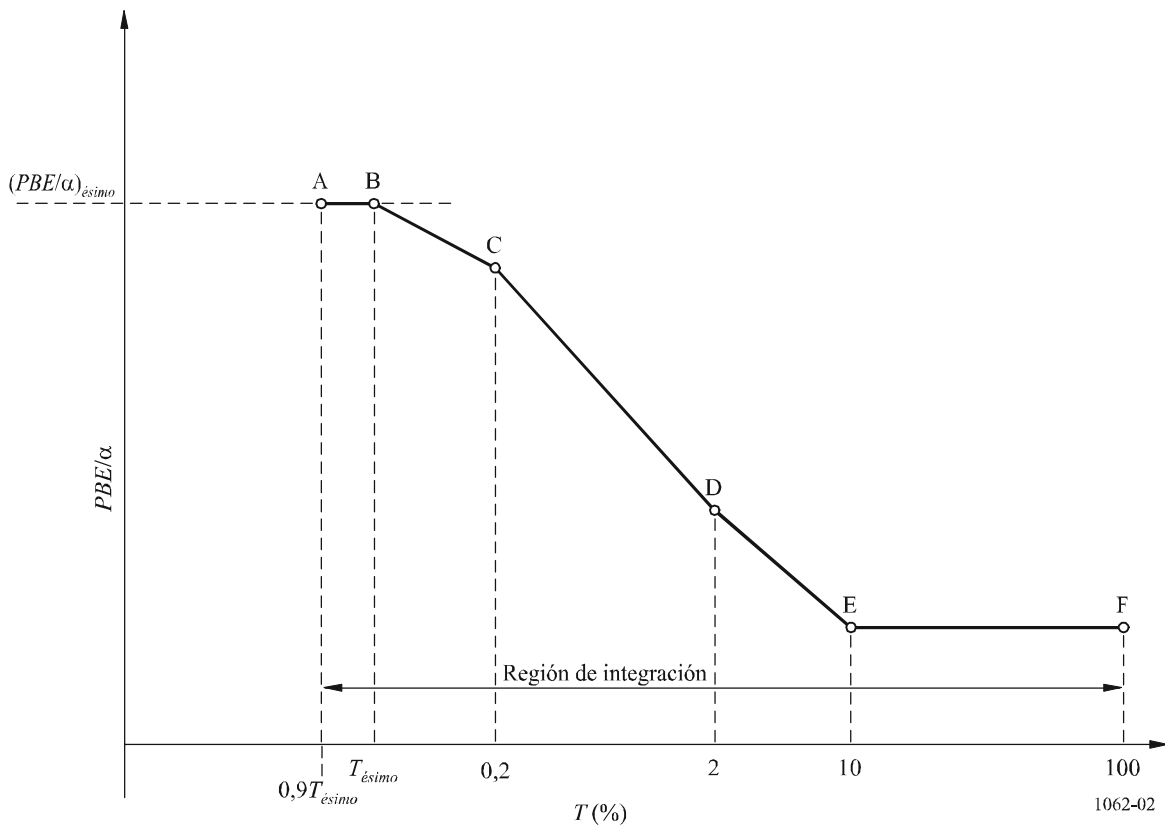
Para realizar un cálculo numérico puede utilizarse la siguiente aproximación discreta:

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

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

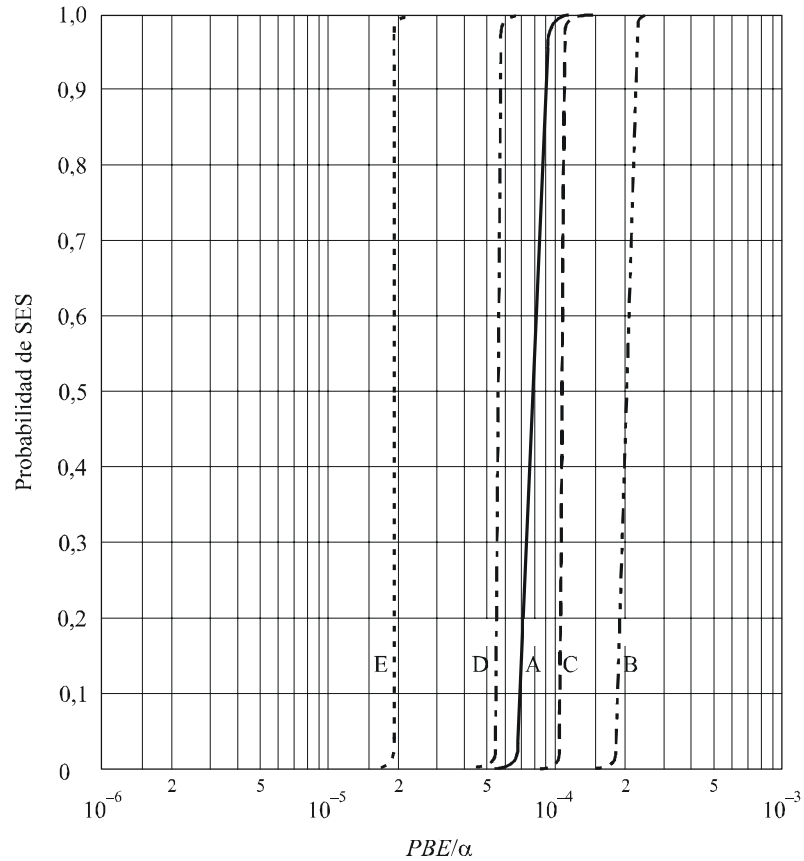


El tiempo umbral de indisponibilidad $T_{\text{ésimo}}$, está definido por $P_{\text{SES}} = 0,933$. Este valor corresponde a una probabilidad de que se produzcan diez SES consecutivos de 0,50.

La Fig. 3 y el Cuadro 7 muestran valores de $PBE_{\text{ésimo}}/\alpha$, 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

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%.

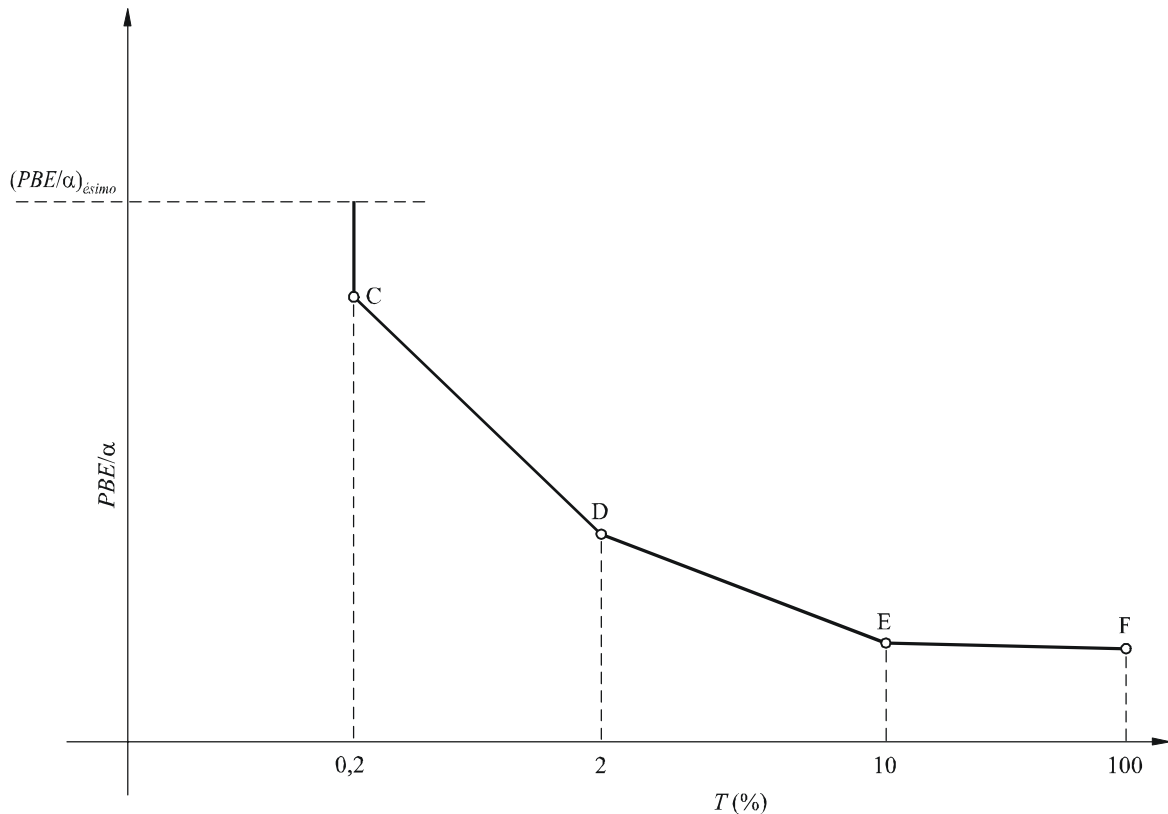
Como consecuencia del proceso iterativo que tiene lugar en los Pasos 4, 5 y 6, cualquier línea recta entre los puntos B y C, pudiendo hallarse B en cualquier lugar entre el 0% y el 0,2% del tiempo, cumplirá los objetivos definidos por esta Recomendación y los objetivos de indisponibilidad indicados en 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.

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 4
Plantilla simplificada

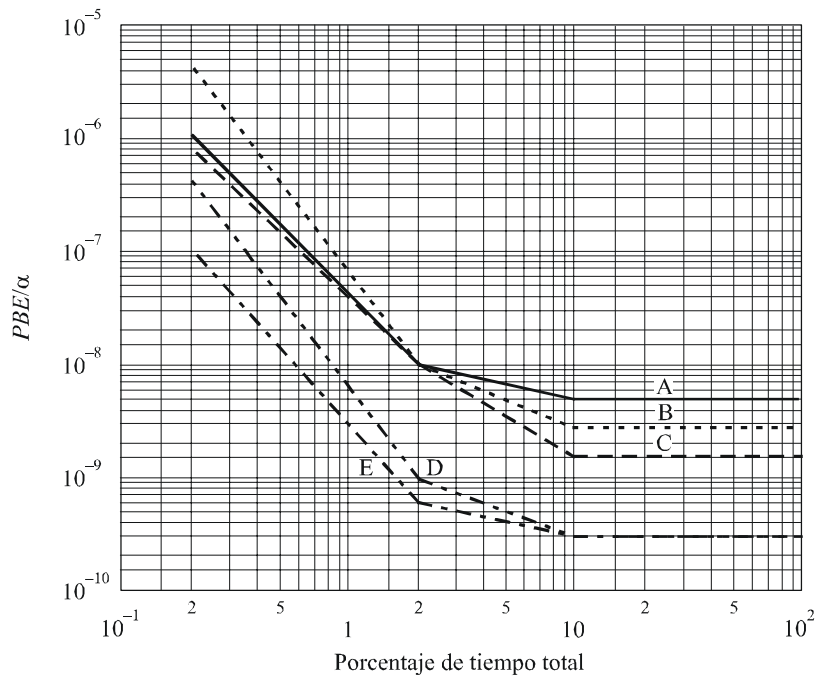


1062-04

Al elaborar estas plantillas, se supuso que $PBE_{mod} = 1 \times 10^{-3}$. Además, 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, a fin de que fuese menos abrupto.

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

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 si fuese causada por errores en los bits que se producen aleatoriamente (con la distribución de Poisson) con una BER, BER/α , donde α (utilizada 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 , también representa la relación entre la BER y la proporción de sucesos erróneos.

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 . Los resultados se muestran en el Cuadro 8.

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).

CUADRO 8

Factor para distintos esquemas FEC

Velocidad binaria (Mbit/s)	Sin FEC	Con FEC		
		1/2	3/4	7/8
1,544	1,0	2,7	5,1	6,6
2,048	1,0	3,4	6,8	8,2
6,312	1,0	2,6	5,1	7,0
51,84	1,0	2,8	5,4	7,2
155,52	1,0	2,8	4,9	7,2

De acuerdo con el Cuadro 8 y los resultados de las mediciones, parece que α podría estar en una gama de 1 a 10 para los casos investigados. Es necesario continuar los estudios de otros tipos de esquemas FEC/aleatorizador. 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 una década y los requisitos de la BER serían más estrictos (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.