

4B2 : Calidad de funcionamiento y disponibilidad

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1062-1

**CARACTERÍSTICA DE ERROR ADMISIBLE PARA EL TRAYECTO DIGITAL FICTICIO DE REFERENCIA A LA VELOCIDAD PRIMARIA O A VELOCIDADES SUPERIORES**

(Cuestión UIT-R 75/4)

(1994-1995)

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, así como los objetivos de calidad 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 conexiones que funcionan a velocidad primaria o a velocidades superiores;
- f) que al definir los criterios de característica de error es necesario tener en cuenta todos los mecanismos previsible que pueden producir errores, especialmente las condiciones de propagación que varían en función del tiempo y la interferencia;
- g) que se puede diseñar sistemas de satélites que cumplan una amplia gama de requisitos de calidad de funcionamiento,

*recomienda*

**1** que en el futuro y, siempre que sea posible, los enlaces por satélite existentes en la red pública con conmutación que funcionan a velocidad primaria o a velocidades superiores se diseñen de modo que cumplan, al menos, las especificaciones dadas 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 probabilidad de bits erróneos (PBE) dividida por el promedio de errores por ráfaga ( $PBE/\alpha$ , 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 una conexión internacional que funciona a la velocidad primaria o superiores, incluida 155 Mbit/s, no debe exceder, durante el tiempo total (mes más desfavorable) de 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/ $\alpha$
1,5	0,2	$7 \times 10^{-7}$
	2,0	$3 \times 10^{-8}$
	10,0	$5 \times 10^{-9}$
2,0	0,2	$7 \times 10^{-6}$
	2,0	$2 \times 10^{-8}$
	10,0	$2 \times 10^{-9}$
6,0	0,2	$8 \times 10^{-7}$
	2,0	$1 \times 10^{-8}$
	10,0	$1 \times 10^{-9}$
51,0	0,2	$4 \times 10^{-7}$
	2,0	$2 \times 10^{-9}$
	10,0	$2 \times 10^{-10}$
155	0,2	$1 \times 10^{-7}$
	2,0	$1 \times 10^{-9}$
	10,0	$1 \times 10^{-10}$

En este caso la probabilidad de bits erróneos (PBE) a la salida (por ejemplo, en cualquiera de los dos extremos de una conexión bidireccional) de un trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) por satélite que opere a, o por encima de, la velocidad primaria, incluyendo 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/ $\alpha$	Para $\alpha = 10$ (PBE)
0,2	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$
2	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-8}$
10	$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-9}$

NOTA 3 – El trayecto digital ficticio de referencia mencionado en esta Recomendación se especifica en la Recomendación UIT-R S.521.

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

NOTA 5 – Con objeto de aplicar de forma sencilla esta Recomendación, los valores de los objetivos indicados en la Nota 1 se dan como tiempo total y representan los límites de un modelo de la característica de probabilidad de bits erróneos 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 probabilidades de bits erróneos 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 consecutivos (SES). 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 segundos con muchos errores y los 10 s se consideran parte del tiempo de disponibilidad. Para velocidades superiores a la velocidad primaria, se define un segundo con muchos errores como un segundo que contiene  $\geq 30\%$  de bloques erróneos o, al menos, un periodo muy perturbado (véase la Recomendación UIT-T G.826, § 3.1.1 y el Anexo 1). 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. Estos valores se muestran en el Cuadro 4.

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, 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 (ISM – in-service measurements). 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 corrección de errores hacia adelante (FEC – forward error correction), 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 enlaces por satélite existentes y futuros en las redes públicas con conmutación deben diseñarse/mejorarse, cuando sea posible, de acuerdo con los objetivos de calidad de funcionamiento especificados en la presente Recomendación. Sin embargo, es posible que no siempre sea práctico mejorar un sistema existente que fue diseñado para cumplir la Recomendación UIT-R S.614.

NOTA 13 – Los métodos descritos en la presente Recomendación pueden aplicarse al diseño de enlaces por satélite en redes privadas, aunque las plantillas de PBE pueden no ser apropiadas según la configuración de la red y los servicios transmitidos.

NOTA 14 – Los objetivos de calidad de funcionamiento se cumplirán para la correspondiente transmisión de extremo a extremo con la velocidad máxima en vez de la velocidad de transmisión ostensible. Por ejemplo, la velocidad de transmisión sobre un enlace vía satélite es 6 Mbit/s y la velocidad de transmisión máxima que ha de establecerse entre los puntos extremos es de 2 Mbit/s, por lo que al diseñar el enlace por satélite se aplicarán los objetivos de calidad de funcionamiento para la transmisión a 2 Mbit/s.

## ANEXO 1

### 1 Recomendación UIT-T G.826 – Definiciones, parámetros y objetivos

De acuerdo con la Recomendación UIT-T G.821, los requisitos de la Recomendación UIT-T G.826 se indican como intervalos con errores (EI – errored intervals). La terminología de las dos Recomendaciones es similar pero las definiciones de los parámetros son diferentes. Para la Recomendación UIT-T G.826, los EI se definen como bloques con errores (EB) en oposición a errores en los bits. La finalidad 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 en los bloques en vez de errores en los bits tiene consecuencias importantes para los sistemas en los que los errores tienden a producirse en grupos, como en el caso de los sistemas que emplean aleatorización y corrección de errores hacia adelante (FEC). El bloque utilizado en la Recomendación UIT-T G.826 es el grupo de bits contiguos que normalmente forman el bloque o trama de supervisión inherente al sistema de transmisión que se emplea.

### 1.1 Definición de los eventos básicos

Los eventos básicos se definen como sigue:

- *Bloque con errores (EB – error block)*

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

- *Segundo con errores (ES – error second)*

Un periodo de 1 s con uno o más bloques con error. El SES que se define a continuación es un subconjunto del ES.

- *Segundo con muchos errores (SES – severely errored second)*

Un periodo de 1 s que contiene  $\geq 30\%$  de bloques con errores (véase la Nota 1) o al menos un periodo muy perturbado (SDP – severely disturbed period) (véase la Nota 2).

Para mediciones fuera de servicio, un SDP se produce cuando, durante un periodo de tiempo mínimo equivalente a cuatro bloques contiguos, o 1 ms, todos los bloques contiguos son afectados por una alta densidad de errores binarios de  $\geq 10^{-2}$ , o se observa una pérdida de señal. Para la supervisión en servicio, un SDP es estimado por la ocurrencia de un defecto de la red. El término defecto se define en los Anexos pertinentes (2, 3 ó 4 de la Recomendación UIT-T G.826) para las diferentes redes en la jerarquía digital plesiócrona, la jerarquía digital síncrona o basada en células, respectivamente.

NOTA 1 – Por razones históricas, los SES en algunos sistemas de la jerarquía digital plesiócrona se definen con un porcentaje diferente de bloques con errores (véase el Anexo 2 de la Recomendación UIT-T G.826).

A efectos de mantenimiento, se pueden utilizar valores diferentes del 30% y estos valores pueden variar con la velocidad de transmisión.

NOTA 2 – Los eventos SDP pueden persistir durante varios segundos y pueden ser precursores de periodos de indisponibilidad, especialmente cuando no se utilizan procedimientos de restablecimiento/protección. Los SDP que persisten durante  $T$  s, donde  $2 \leq T < 10$  (algunas entidades operadoras de red denominan estos eventos como «fallos»), pueden tener una repercusión importante en el servicio, por ejemplo, la desconexión de los servicios conmutados. La única manera en que la Recomendación UIT-T G.826 limita la frecuencia de estos eventos es mediante el límite para la relación de segundos con muchos errores (SESR).

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

Un bloque con errores que no se produce como parte de un SES.

### 1.2 Definición de los parámetros

Las características de error deben evaluarse sólo durante el estado de disponibilidad del enlace. Los criterios de entrada/salida en el estado de indisponibilidad se definen en el Anexo 1 de la Recomendación UIT-T G.826:

- *Tasa de segundos con errores (ESR)*

La relación segundos con error/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)*

La relación bloques con errores/bloques totales durante un intervalo de medición fijo, excluidos todos los bloques durante los SES y el tiempo de indisponibilidad.

### 1.3 Objetivos de calidad de funcionamiento

Los objetivos de extremo a extremo de la Recomendación UIT-T G.826 se muestran en el Cuadro 3. 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. Las gamas de tamaños de bloque se indican para no perjudicar el desarrollo de futuros sistemas de transmisión. Estos objetivos se especifican para el tiempo de disponibilidad.

CUADRO 3

**Objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo para una conexión digital internacional de 27 500 km a la velocidad primaria o a velocidades superiores**

Velocidad (Mbit/s)	1,5 a 5	> 5 a 15	> 15 a 55	> 55 a 160	> 160 a 3 500	> 3 500
Bits/bloque	2 000-8 000 <sup>(1)</sup>	2 000-8 000	4 000-20 000	6 000-20 000	15 000-30 000 <sup>(2)</sup>	Para ulterior estudio
ESR	0,04	0,05	0,075	0,16	(3)	Para ulterior estudio
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	Para ulterior estudio
BBER	$3 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$10^{-4}$	Para ulterior estudio

(1) Los trayectos VC-11 y VC-12 (véase la Recomendación UIT-T G.709) se definen con un número de bits/bloque de 832 y 1 120 respectivamente, es decir, fuera de la gama recomendada para trayectos de 1,5 a 5 Mbit/s. Para estos tamaños de bloques, el objetivo BBER para VC-11 y VC-12 es  $2 \times 10^{-4}$ .

(2) Como no se espera que las proporciones de bits erróneos disminuyan considerablemente a medida que aumentan las velocidades binarias de los sistemas de transmisión, los tamaños de bloques (en bits) utilizados para evaluar trayectos de velocidad binaria muy elevada deben permanecer en la gama de 15 000 a 30 000 bits/bloque. Mantener un tamaño de bloque constante para trayectos de velocidad binaria muy elevada produce objetivos de BBER y SESR relativamente constantes en esos trayectos.

Como se define actualmente, VC-4-4c (véase la Recomendación UIT-T G.709) es un trayecto de 601 Mbit/s con un tamaño de bloque de 75 168 bits/bloque. Dado que esto rebasa el tamaño de bloque máximo recomendado para un trayecto de esta velocidad, el objetivo BBER para VC-4-4c con el tamaño de bloque de 75 168 bits se fija en  $4 \times 10^{-4}$ . Actualmente no hay trayectos definidos para velocidades binarias superiores a VC-4-4c (> 601 Mbit/s). Se definen secciones digitales para velocidades binarias superiores y a continuación se dan directrices para evaluar la calidad de funcionamiento de las secciones digitales.

(3) Por falta de información sobre la calidad de funcionamiento de trayectos que funcionan a velocidades superiores a 160 Mbit/s, no se recomienda actualmente ningún objetivo de ESR. No obstante, el tratamiento de la ESR debe efectuarse en cualquier dispositivo de medición de la característica de error que funcione a estas velocidades para fines de mantenimiento o de supervisión.

Con independencia de la distancia real cubierta, cualquier tramo de satélite en la porción internacional o nacional recibe una asignación del 35% de los objetivos de extremo a extremo. Los objetivos de calidad de funcionamiento para un trayecto digital ficticio de referencia por satélite se muestran en el Cuadro 4 para velocidades de transmisión entre 1,5 y 3 500 Mbit/s.

CUADRO 4

**Objetivos de calidad de funcionamiento del trayecto digital ficticio de referencia por satélite para una conexión digital internacional o nacional que funciona a la velocidad primaria o a velocidades superiores**

Velocidad (Mbit/s)	1,5 a 5	> 5 a 15	> 15 a 55	> 55 a 160	> 160 a 3 500
ESR	0,014	0,0175	0,0262	0,056	(1)
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	$1,05 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

(1) Por falta de información sobre la calidad de funcionamiento de trayectos que funcionan a velocidades superiores a 160 Mbit/s, no se recomienda actualmente ningún objetivo de ESR. No obstante, el tratamiento de la ESR debe efectuarse en cualquier dispositivo de medición de la característica de error que funcione a estas velocidades para fines de mantenimiento o de supervisión.

## 1.4 Bloques de supervisión

El bloque utilizado en la Recomendación UIT-T G.826 es el bloque de supervisión inherente al sistema de transmisión empleado. El Cuadro 5 muestra el tamaño del bloque y el número de bloques por segundo para distintas velocidades de transmisión.

CUADRO 5

**Relación entre la velocidad binaria, el tamaño del bloque y el número de bloques por segundo**

Velocidad binaria (Mbit/s)	Tamaño de bloque (bits)	Número de bloques por segundo
1,544	4 632	333 1/3
2,048	2 048	1 000
6,312	3 156	2 000
44,736	4 760	9 398 63/119
51,84	6 480	8 000
155,52	19 440	8 000

## 2 Modelos de probabilidad de bits erróneos

El conjunto de parámetros y objetivos definidos en la Recomendación UIT-T G.826 no es adecuado para el diseño de sistemas de transmisión. Debe transformarse en una probabilidad de bits erróneos en función de la distribución del porcentaje de tiempo, lo que se denomina también un modelo de probabilidad de bits erróneos, de modo que cualquier sistema de transmisión digital diseñado para satisfacer el modelo satisfaga también los objetivos de la Recomendación. Sin embargo, la transformación no resulta en una «única plantilla».

### 2.1 Probabilidad de los eventos 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 corrección de errores sin canal de retorno (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 Contagious 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:

$\alpha$ : 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:

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

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

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

donde  $PBE_{CRC}(t) = PBE/\alpha$ , y el  $PBE_{CRC}$  se muestra de forma explícita como una función del tiempo. La probabilidad de que haya un segundo con error,  $P_{ES}(t)$ , puede expresarse entonces como:

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

donde  $n$  es el número de bloques por segundo.

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

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

la probabilidad de que se produzca un segundo con muchos errores,  $P_{SES}(t)$ , es:

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

## 2.2 Generación de modelos

Suponiendo una forma general del modelo indicado en la Fig. 1 y utilizando las fórmulas de probabilidad anteriores, se puede calcular la tasa de segundos con errores (ESR). La ESR definida como la relación entre el número total de segundos con error (segundos con uno o más bloques con errores) y dividido por el total de segundos disponibles,  $T_a$ , viene dada por:

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

De forma similar, la tasa de segundos con muchos errores (SESR) viene dada por:

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

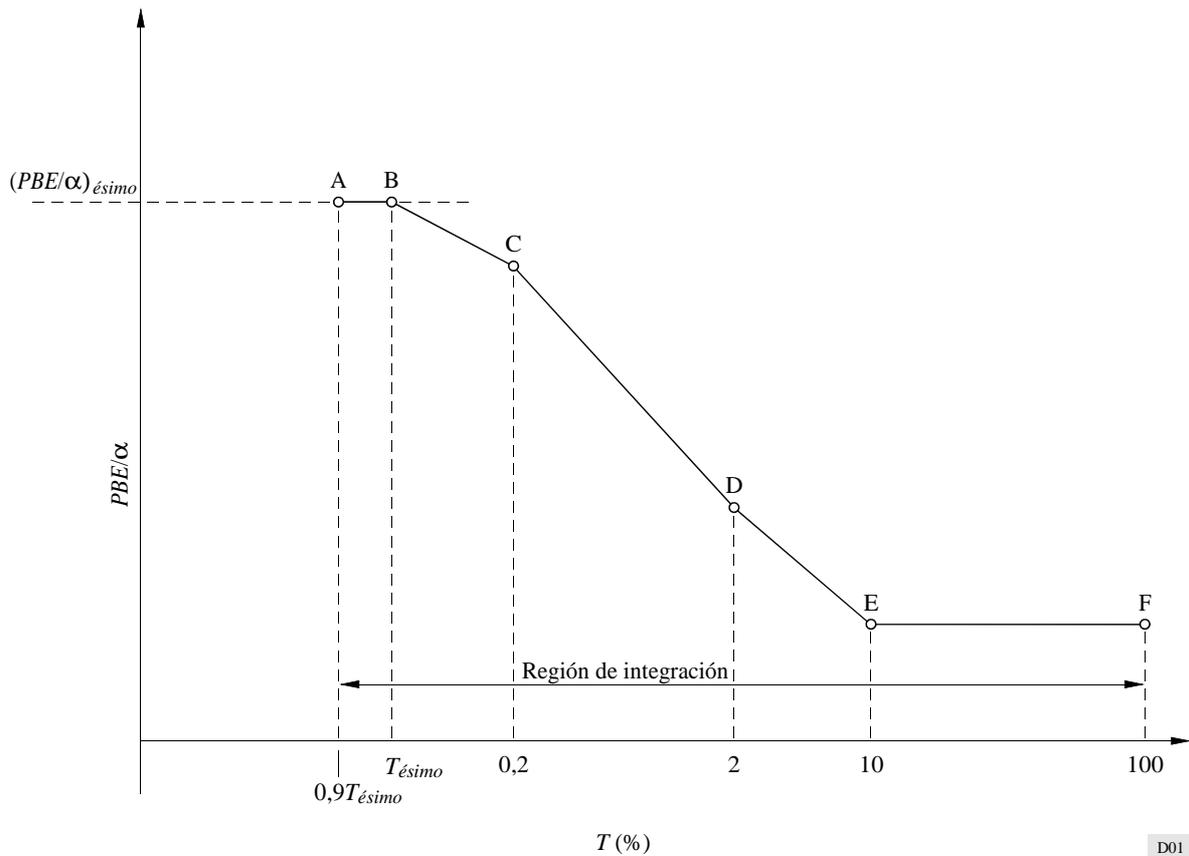
Si se supone que  $P_{ES}(t)$  y  $P_{SES}(t)$  son constantes durante pequeños intervalos de tiempo, ESR y SESR podrán expresarse de la forma siguiente:

$$ESR = \sum_{i=1}^M P_{ES_i} \cdot \Delta t_i$$

$$SESR = \sum_{i=1}^M P_{SES_i} \cdot \Delta t_i$$

donde  $M$  es el número total de intervalos de tiempo,  $P_{ES_i}(t)$  y  $P_{SES_i}(t)$  representan las probabilidades de que se produzca un segundo con errores, y un segundo con muchos errores, respectivamente, en el intervalo de tiempo  $i$ -ésimo, y  $\Delta t_i$  es el intervalo de tiempo  $i$ -ésimo dividido por  $T_a$ .

FIGURA 1  
Forma general del modelo



D01

La tasa de errores de bloque de fondo (BBER) se define como la relación entre los bloques con errores y el número total de bloques durante los segundos disponibles, excluyendo todos los bloques durante los segundos con muchos errores (SES). Por consiguiente:

$$BBER = \frac{\int_{T_a} \left( \sum_{k=1}^{0,3n} P_{n,k}(t) \cdot k \right) dt}{n \cdot \left( T_a - \int_{T_a} P_{SES}(t) \cdot dt \right)} = \frac{\sum_{k=1}^{0,3n} \left( \frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{n,k}(t) \cdot dt \right) \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)}$$

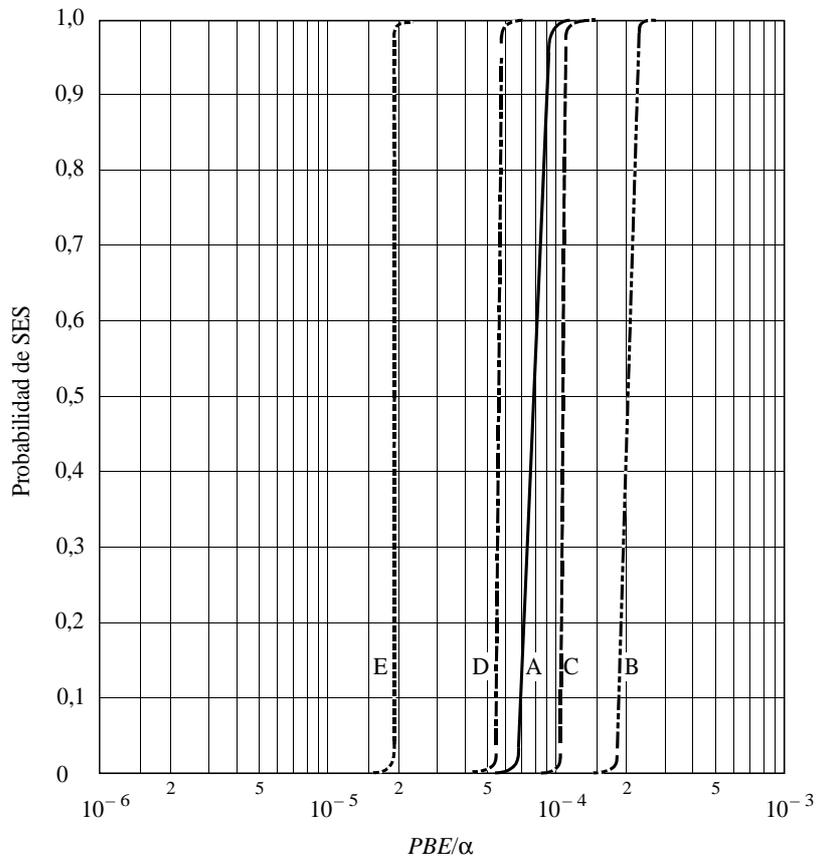
Si  $\overline{P_{n,k}} = \frac{\int P_{n,k} \cdot dt}{T_a}$ , la BBER puede expresarse de la forma siguiente:

$$BBER = \frac{\sum_{k=1}^{0,3n} \overline{P_{n,k}} \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)}$$

El tiempo umbral de indisponibilidad ( $T_{ésimo}$ ) está definido por  $P_{SES} = 0,933$ . Este valor corresponde a una probabilidad de que se produzcan diez SES consecutivos de 0,5.

La Fig. 2 y el Cuadro 6 muestran valores de  $PBE_{ésimo}/\alpha$ , para diversas velocidades de datos.

FIGURA 2  
 $P_{SES}$  en función de  $PBE/\alpha$



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

D02

CUADRO 6

Velocidad binaria (Mbit/s)	$PBE_{ésimo}/\alpha$
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:

$$PBE_{ésimo}/\alpha = \text{mín} (PBE_{ésimo}/\alpha \text{ del Cuadro 6; } PBE_{mod}/\alpha)$$

Para la mayoría de los módems actualmente en servicio, la  $PBE_{mod}$  es aproximadamente  $1,0 \times 10^{-3}$ .

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. 1) se utiliza el proceso siguiente:

*Paso 1* – Se fijan los valores de la plantilla para el 100%, 10%, 2% y 0,2% del tiempo (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 de la Recomendación UIT-T G.826 en cuanto a los ESR, SESR y BBER 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 de la Recomendación UIT-T G.826. Además, este proceso garantiza que se obtiene un tiempo 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 de la Recomendación UIT-T G.826 y los objetivos de indisponibilidad. Por tanto, la forma general del modelo puede simplificarse más ampliándolo verticalmente desde el punto C, como se indica en la Fig. 3.

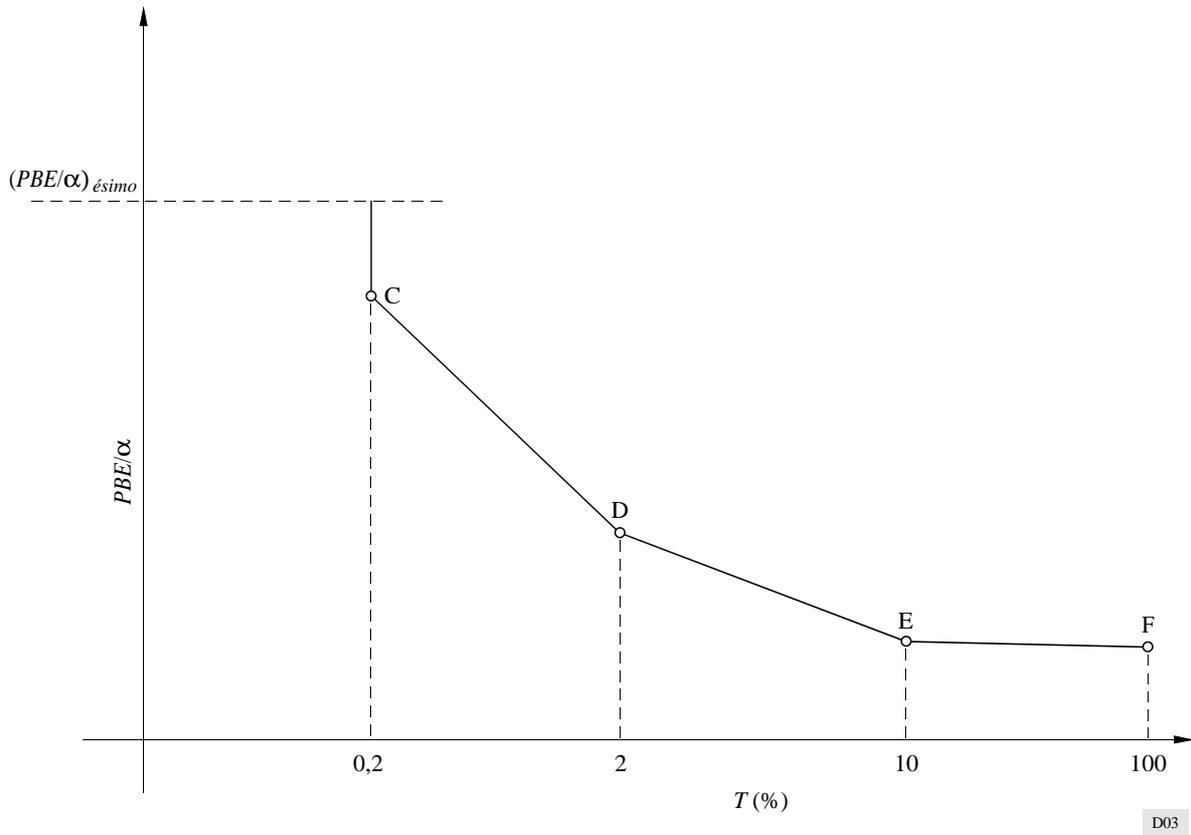
En virtud de este proceso y de las hipótesis adicionales de que:

- los valores de  $PBE/\alpha$  correspondientes a los puntos E y F son iguales,
- los valores de  $PBE/\alpha$  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. 4.

Al elaborar estos modelos, se supuso que  $PBE_{mod} = 1 \times 10^{-3}$ . Además, en el modelo de 1,5 Mbit/s, la relación entre los valores de  $PBE/\alpha$  correspondientes a los puntos E y D se cambió de 10 a 3, a fin de que fuese menos abrupto.

FIGURA 3  
Modelo simplificado



### 3 Relación entre la proporción de bits erróneos y la proporción de eventos 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 proporción de bits erróneos,  $BER/\alpha$ , donde  $\alpha$  (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  $\alpha$ , también representa la relación entre la proporción de bits erróneos y la proporción de eventos erróneos.

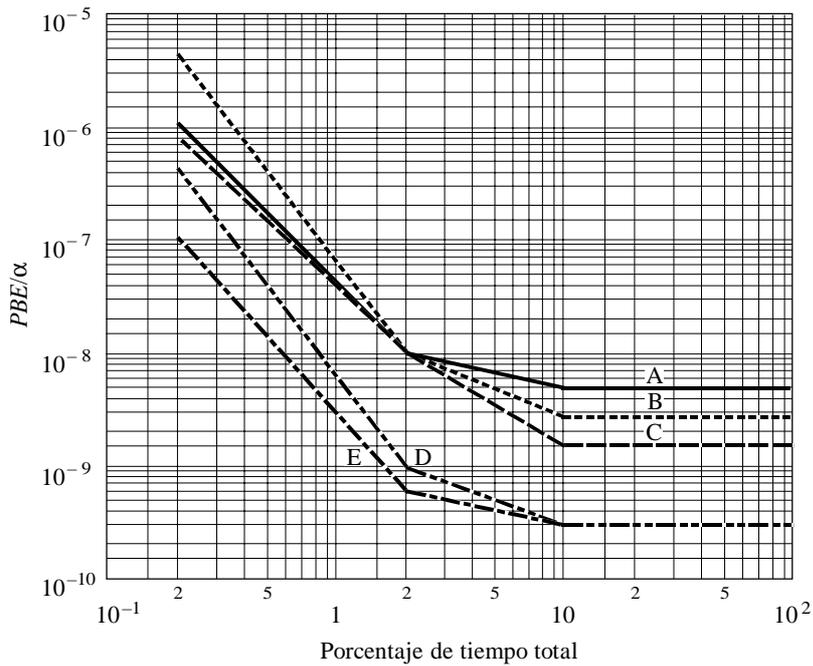
Las propiedades estadísticas de las agrupaciones de errores dependen de los esquemas de FEC/aleatorizador utilizados. Se han empleado también simulaciones por computador y mediciones de distintos esquemas FEC (sin aleatorizador o codificación diferencial) para determinar el factor  $\alpha$ . Los resultados se muestran en el Cuadro 7.

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  $BER 10^{-4}$  a  $10^{-11}$ . Se determinó  $\alpha = 5$  en las mismas mediciones para transmisiones digitales de tipo INTELSAT IBS (FEC  $R = 1/2$  más aleatorizador).

De acuerdo con el Cuadro 7 y los resultados de las mediciones, parece que  $\alpha$  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  $\alpha$  en el modelo de calidad de funcionamiento podrá evaluarse como sigue.

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

FIGURA 4  
Modelos 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

D04

CUADRO 7  
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	1,1	2,8	4,9	7,2

#### 4 Conclusiones

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

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