

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R S.1521-1
(01/2010)

**Característica de error admisible
para el trayecto digital ficticio
de referencia basado en la
jerarquía digital síncrona**

Serie S
Servicio fijo por satélite



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1521-1

Característica de error admisible para el trayecto digital ficticio de referencia basado en la jerarquía digital síncrona

(2001-2010)

Ámbito

El servicio fijo por satélite (FSS) desempeña un papel importante a la hora de proporcionar comunicaciones digitales internacionales fiables. Debido a la integración con las instalaciones terrenales, un enlace por satélite debe diseñarse para que cumpla los requisitos necesarios de compatibilidad con los sistemas terrenales. La Recomendación UIT-T G.828 especifica los parámetros y objetivos de comportamiento para los trayectos digitales síncronos internacionales destinados a cursar la jerarquía digital síncrona (SDH) y el modo de transferencia asíncrono (ATM). En respuesta a esos objetivos, la presente Recomendación proporciona orientaciones sobre el diseño de las plantillas de la probabilidad de bits erróneos (BEP) o la proporción de bits erróneos (BER) con tornos de diseño que pueden satisfacer plenamente los requisitos de la citada Recomendación UIT-T G.828.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los satélites que funcionan en el servicio fijo por satélite desempeñan un papel 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 en la Recomendación UIT-R S.1062 se especifican los objetivos de calidad de funcionamiento de los enlaces por satélite que cumplen los objetivos indicados en la Recomendación UIT-T G.826;
- e) que en la Recomendación UIT-T G.828 se han especificado las características de error para trayectos digitales síncronos internacionales de velocidad binaria constante destinados a cursar tráfico en modo de transferencia asíncrono (ATM) tal como se define en la Recomendación UIT-T I.356;
- f) que la Recomendación UIT-R S.1429 especifica la característica de error admisible debido a la interferencia entre distintos sistemas de satélites;
- g) que la Recomendación UIT-R S.1323 indica la forma de calcular los márgenes de funcionamiento para permitir tanto interferencia por desvanecimiento como interferencia variable en el tiempo;
- h) que al definir los criterios de característica de error es necesario tener en cuenta todos los mecanismos que pueden producir errores, especialmente las condiciones de propagación que varían en función del tiempo y la interferencia;
- j) que se pueden diseñar sistemas de satélites que cumplan una amplia gama de requisitos de calidad de funcionamiento,

recomienda

1 que los enlaces por satélite en la red pública destinados a cursar tráfico en jerarquía digital síncrona (SDH) y ATM se diseñen de modo que cumplan, al menos, las especificaciones dadas en la presente Recomendación, que se basa en la Recomendación UIT-T G.828 (véase el Anexo 1);

2 que se utilice la metodología descrita en el Anexo 2 para generar la plantilla necesaria de probabilidad de bits erróneos (BEP, *bit error probability*) (véase también la Nota 2). Para cumplir totalmente los requisitos de la Recomendación UIT-T G.828, la BEP dividida por el promedio de errores por ráfaga (BEP/ α , véase el § 3 del Anexo 2) a la salida de cualquiera de los dos extremos de un trayecto digital ficticio de referencia (HRDP, *hypothetical reference digital path*) bidireccional no debe exceder, durante el tiempo total, comprendido el mes más desfavorable, las plantillas definidas en el Cuadro 1 ni las plantillas de BEP de la Fig. 2 del Anexo 2;

CUADRO 1

Velocidad binaria (kbit/s)	Porcentaje de tiempo total (mes más desfavorable)	BEP/ α
1 664	0,2	1×10^{-9}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
2 240	0,2	1×10^{-9}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
6 848	0,2	1×10^{-9}
	2,0	7×10^{-10}
	10,0	6×10^{-10}
48 960	0,2	1×10^{-9}
	2,0	2×10^{-10}
	10,0	1×10^{-10}
150 336	0,2	1×10^{-9}
	2,0	2×10^{-10}
	10,0	9×10^{-11}
601 334	0,2	A determinar
	2,0	A determinar
	10,0	A determinar

3 que las Notas siguientes formen parte de la presente Recomendación:

NOTA 1 – El HRDP mencionado se especifica en la Recomendación UIT-R S.521.

NOTA 2 – Las relaciones de BEP indicadas en el Cuadro 1 pueden estimarse midiendo la proporción de bits erróneos (BER) durante un periodo de tiempo suficientemente largo. En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.1062 figura un método para medir las BER en función de un porcentaje más breve de tiempo.

NOTA 3 – Con objeto de facilitar la aplicación de esta Recomendación, los valores indicados en el Cuadro 1 se dan como tiempo total y representan los límites de un modelo de la característica de BEP que utiliza el método descrito en el Anexo 2. Para obtener las cifras dadas en el Cuadro 1,

se han excluido los errores que aparecen durante el tiempo de indisponibilidad. Las BEP del Cuadro 1 no son las únicas que cumplen los requisitos de la Recomendación UIT-T G.828. Pueden utilizarse otras plantillas de BEP cuando proceda, siempre que satisfagan los requisitos de la Recomendación UIT-T G.828.

NOTA 4 – Esta Recomendación se aplica a los sistemas de satélite que funcionan por debajo de 15 GHz. La extensión de los requisitos a sistemas que funcionan a frecuencias más altas requiere nuevo estudio.

NOTA 5 – Como valor umbral de indisponibilidad se ha utilizado una BEP de 1×10^{-8} .

NOTA 6 – Los objetivos que figuran en el Cuadro 1 se indican en porcentajes del mes más desfavorable. Estos porcentajes mensuales corresponden a los siguientes porcentajes anuales:

- 10% de un mes = 4,0% del año;
- 2% de un mes = 0,6% del año;
- 0,2% de un mes = 0,04% del año.

NOTA 7 – Para cumplir con los valores del Cuadro 1 a frecuencias superiores a 10 GHz (véase también la Nota 4), puede ser conveniente utilizar medidas para contrarrestar el desvanecimiento que incluyan la codificación adaptativa con corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC, *forward error correction*), el control de potencia o la diversidad de emplazamientos. En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.1061 se proporciona información sobre el funcionamiento con diversidad de emplazamientos.

NOTA 8 – El método preferencial 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 inherente al bloque SDH y la estructura del sistema de transmisión. La FEC, la aleatorización y la codificación diferencial influyen en la interpretación de las mediciones (véase el § 3 del Anexo 2).

NOTA 9 – La característica de error descrita en el Cuadro 1 se ha elaborado tomando como base la utilización de un HRDP en la porción internacional del enlace (por ejemplo, de cabecera internacional conmutada a cabecera internacional conmutada). Son posibles otras aplicaciones del HRDP en la conexión (por ejemplo, de central de extremo a central de extremo) y los objetivos de características de error pueden ajustarse en consecuencia.

NOTA 10 – Los métodos descritos en la presente Recomendación pueden aplicarse al diseño de enlaces por satélite en redes privadas.

NOTA 11 – Los objetivos de calidad de funcionamiento se cumplirán para la velocidad de transmisión requerida y no para cualquier velocidad superior creada a fin de dar soporte a la multiplexación o a la corrección de errores. Por ejemplo, si la velocidad de transmisión sobre un enlace por satélite es 6 Mbit/s y la velocidad de transmisión requerida entre los puntos extremos es de 2 Mbit/s, se aplicarán los objetivos de calidad de funcionamiento para la transmisión a 2 Mbit/s.

Anexo 1

1 Aspectos generales

La Recomendación UIT-T G.828 define parámetros y objetivos de características de error para trayectos digitales síncronos internacionales destinados a cursar tráfico SDH y ATM. La presente Recomendación adopta todas las definiciones de parámetros y objetivos que figuran en la mencionada Recomendación. Los objetivos indicados en la Recomendación UIT-T G.828 son independientes de la red física que da soporte al trayecto.

Los códigos de paridad de entrelazado de bits (BIP, *bit interleaved parity*) transportados en los encabezamientos de contenedor SDH dan soporte a la medición en servicio de la proporción de errores en la capa SDH.

1.1 Definiciones

Por motivos de conveniencia, se utilizan las definiciones que figuran en la Recomendación UIT-T G.828.

Las mediciones de característica de error se basan en bloques cuya dimensión es compatible con la estructura de trama SDH y varía según la velocidad binaria (véase el Cuadro 2).

1.1.1 Bloque

Un bloque es un conjunto de bits consecutivos asociados con el trayecto; cada bit pertenece a un bloque, y solamente a un bloque. Dos bits consecutivos pueden no ser contiguos en el tiempo.

1.1.2 Eventos de error

- *Bloque con errores (EB, errored block)*: Bloque en el que uno o más bits son erróneos.
- *Segundo con errores (ES, errored second)*: Periodo de un segundo durante el cual se detecta uno o más EB, o al menos un defecto. En el Anexo B a la Recomendación UIT-T G.828 se enumeran los defectos y los criterios de calidad de funcionamiento conexos.
- *Segundo con muchos errores (SES, severely errored second)*: Periodo de un segundo durante el cual se detecta una proporción de EB $\geq 30\%$, o al menos un defecto. SES es un subconjunto de ES. Para simplificar los procesos de medición, el defecto se utiliza en la definición de SES en vez de definir SES directamente en términos de la gravedad de los errores en los bits. No obstante, debe reconocerse que pueden existir patrones de errores que no provocarían un defecto. La experiencia práctica establecerá si se trata de un problema importante en la medición de los errores.
- *Error de bloque de fondo (BBE, background block error)*: Detección de un EB en un instante no comprendido en un SES.
- *Periodo con muchos errores (SEP, severely errored period)*: Secuencia de 3 a 9 SES consecutivos. La secuencia es terminada por un segundo que no es un SES. Por consiguiente, el evento SEP es idéntico al evento SES consecutivo (CSES) de la Recomendación UIT-T G.784, con el umbral inferior que se fija a 3 s.

En el Cuadro 2 se indican las relaciones entre el tamaño de los bloques, en comparación con las velocidades binarias, los códigos de detección de errores (EDC, *error detection code*) y los tipos de trayecto.

CUADRO 2

**Tamaño de los bloques en comparación
con las velocidades binarias**

Velocidad binaria (kbit/s)	Tipo de trayecto	Tamaño del bloque SDH utilizado en la Recomendación UIT-T G.828 (bits)	EDC
1 664	VC-11, TC-11	832	BIP-2
2 240	VC-12, TC-12	1 120	BIP-2
6 848	VC-2, TC-2	3 424	BIP-2
48 960	VC-3, TC-3	6 120	BIP-8
150 336	VC-4, TC-4	18 792	BIP-8
601 344	VC-4-4c, TC-4-4c	75 168	BIP-8
2 405 376	VC-4-16c, TC-4-16c	300 672	BIP-8
9 621 504	VC-4-64c, TC-4-64c	1 202 688	BIP-8

1.1.3 Parámetros de la característica de error

La característica de error debe evaluarse solamente mientras el trayecto está en estado disponible. Para una definición de los criterios seguidos para determinar las transiciones hacia/desde el estado disponible, véase el Anexo A a la Recomendación UIT-T G.828.

- *Relación de segundos con errores (ESR, errored second ratio)*: Relación entre los ES y el total de segundos en tiempo disponible durante un intervalo de medición fijo.
- *Relación de segundos con muchos errores (SESR, severely errored second ratio)*: Relación entre los SES y el total de segundos en tiempo disponible durante un intervalo de medición fijo.
- *Relación de error de bloque de fondo (BBER, background block error ratio)*: Relación entre los bloques detectados como BBE y el número total de bloques detectados en tiempo disponible durante un intervalo de medición fijo. En la cuenta del número total de bloques no se incluyen los bloques detectados durante SES.
- *Intensidad del periodo con muchos errores (SEPI, severely errored period intensity)*: Número de eventos SEP en tiempo disponible, dividido por el total de tiempo disponible, en segundos. Por consiguiente, el parámetro SEPI tiene una unidad de 1/s.

1.1.4 Mediciones del bloque

Cada bloque se supervisa por medio de un EDC BIP transportado en el encabezamiento SDH. Cuando se detecta un estado de error, no es posible determinar si un bloque o los bits EDC que lo controlan son erróneos. Por lo tanto, en caso de discrepancia entre el EDC y el bloque controlado por éste, se supondrá siempre que el bloque controlado es erróneo.

2 Objetivos de característica de error

2.1 Objetivos de extremo a extremo

En el Cuadro 3 se especifican los objetivos de extremo a extremo para un trayecto ficticio de referencia (HRP, *hypothetical reference path*) de 27 500 km. Los objetivos aplicables a un trayecto real se obtienen del Cuadro 3 aplicando los principios de atribución descritos detalladamente en el § 6.2 de la Recomendación UIT-T G.828. Cada sentido de transmisión del trayecto satisfará independientemente los objetivos atribuidos para todos los parámetros. Los objetivos son objetivos

a largo plazo que deberán ser satisfechos en un periodo de evaluación que suele ser de 30 días consecutivos.

CUADRO 3

Objetivos de característica de error de extremo a extremo para un HRP digital síncrono internacional de 27 500 km (definido en la Recomendación UIT-T G.828)

Velocidad binaria (kbit/s)	Tipo de trayecto	Bloques/s	ESR	SESR	BBER ⁽¹⁾	SEPI ⁽²⁾
1 664	VC-11, TC-11	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
2 240	VC-12, TC-12	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
6 848	VC-2, TC-2	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
48 960	VC-3, TC-3	8 000	0,02	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
150 336	VC-4, TC-4	8 000	0,04	0,002	1×10^{-4}	0,0002/s
601 344	VC-4-4c, TC-4-4c	8 000	⁽³⁾	0,002	1×10^{-4}	0,0002/s

⁽¹⁾ Este objetivo de BBER corresponde a una relación de errores de bit equivalente de $8,3 \times 10^{-10}$, lo que representa una mejora con respecto a la BER de $5,3 \times 10^{-9}$ para la velocidad VC-4. La relación de errores de bit equivalente es útil como una indicación, independiente de la velocidad, de la característica de error, pues los objetivos de BBER no pueden permanecer constantes cuando los tamaños de los bloques aumentan.

⁽²⁾ Valor provisional que requiere más estudio.

⁽³⁾ Los objetivos ESR tienden a perder su significado en velocidades binarias elevadas y por eso no se especifican para trayectos que funcionan a velocidades binarias superiores a 160 Mbit/s. Sin embargo, un aumento significativo de la ESR indica un sistema de transmisión degradado. Por consiguiente, para fines de mantenimiento, se debe efectuar la supervisión de ES.

Los trayectos digitales síncronos que funcionan a velocidades binarias cubiertas por esta Recomendación se pueden transportar por secciones digitales que funcionan a velocidades binarias más altas. Esos sistemas deben satisfacer los objetivos de extremo a extremo. Por ejemplo, en SDH, una sección STM-1 puede transportar un trayecto VC-4, por lo que la sección STM-1 debe diseñarse de manera que asegure que se cumplirán los objetivos del trayecto VC-4.

Se atribuyen objetivos a las porciones nacionales y a la porción internacional de un trayecto. En el ejemplo anterior, si la sección STM-1 no constituye una porción nacional o internacional completa, la correspondiente atribución nacional/internacional debe subdividirse para determinar la atribución adecuada para la sección digital. Este aspecto está fuera del alcance de la presente Recomendación.

2.2 Distribución de objetivos de extremo a extremo

Los niveles de calidad de funcionamiento esperados se distribuyen entre las porciones nacionales y la porción internacional de un HRP.

Una ulterior división de estos objetivos está fuera del alcance de esta Recomendación.

2.2.1 Atribución a las porciones nacionales

A cada porción nacional se atribuye un margen de bloque fijo de 17,5% del objetivo de extremo a extremo además de una atribución basada en la distancia.

Cuando una porción nacional incluye un salto por satélite, se atribuye a esa porción nacional un margen total de 42% de los objetivos de extremo a extremo indicados en el Cuadro 3. Este margen de 42% reemplaza completamente el margen basado en la distancia y el margen de bloque del 17,5%.

2.2.2 Atribución a la porción internacional

Independientemente de la distancia abarcada, todo salto por satélite en la porción internacional recibe una atribución del 35% de los objetivos indicados en el Cuadro 3. Este margen de 35% reemplaza completamente todos los márgenes basados en la distancia y márgenes de bloque concedidos en otro caso a partes de la porción internacional abarcada por el salto por satélite.

3 Objetivos de calidad de funcionamiento del HRDP por satélite

CUADRO 4

Objetivos de calidad de funcionamiento de un HRDP por satélite para un enlace SDH internacional

Velocidad (kbit/s)	1 664 (VC-11)	2 240 (VC-12)	6 848 (VC-2)	48 960 (VC-3)	150 336 (VC-4)	601 334 (VC-4-4c)
ESR	0,0035	0,0035	0,0035	0,007	0,014	(¹)
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	$1,75 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-5}$	$0,35 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

(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 sistema que funcione a estas velocidades para fines de mantenimiento o de supervisión.

Anexo 2

Obtención de la plantilla de BEP

1 Introducción

Los parámetros y objetivos definidos en la Recomendación UIT-T G.828 no son adecuados para el diseño de sistemas de transmisión por satélite. Deben transformarse en una BEP en función de la distribución del porcentaje de tiempo, lo que se denomina también una plantilla de probabilidad de bits erróneos, de modo que cualquier sistema de transmisión digital diseñado para satisfacer la plantilla satisfaga también los objetivos de la Recomendación. Sin embargo, la transformación descrita en el presente Anexo no da lugar a una plantilla única.

En este Anexo se describe la metodología necesaria para crear la plantilla de BEP.

2 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 del código 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 contigua de Neyman-A 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:

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

donde:

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

$$P(0) = e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \left[\left(\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha} \right)^j / j! \right] e^{-j\alpha} \cong e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \quad (2)$$

para todos los valores posibles de α .

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

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

donde $BEP_{CRC}(t) = BEP/\alpha$, y la BEP_{CRC} se indica explícitamente en función del tiempo. La probabilidad de que haya un ES, $P_{ES}(t)$, puede expresarse entonces como:

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

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:

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

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

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

2.1 Generación de plantillas

Si se supone una forma general de la plantilla (como la que se indica en la Fig. 1) y se utiliza la fórmula de probabilidad ESR (definida como el total de ES, es decir, los segundos en los que se han detectado uno o más bloques con errores) dividida por el total de segundos disponibles, T_a , viene dada por:

$$ESR = \frac{\int P_{ES}(t)}{T_a} \quad (7)$$

Del mismo modo, la SESR viene dada por:

$$SESR = \frac{\int P_{SES}(t)}{T_a} \quad (8)$$

Si se supone que $P_{ES}(t)$ y $P_{SES}(t)$ son constantes por fracciones de tiempo, ESR y SESR pueden expresarse como:

$$ESR = \sum_{i=1}^M P_{ES_i} \cdot \Delta t_i \quad (9)$$

y

$$SESR = \sum_{i=1}^M P_{SES_i} \cdot \Delta t_i \quad (10)$$

donde M es el número total de intervalos de tiempo y $P_{ES_i}(t)$ y $P_{SES_i}(t)$ son la probabilidad de un ES y SES, respectivamente, en el intervalo de tiempo i -ésimo dividido por T_a .

BBER se define como la relación entre los EB y el total de bloques durante los segundos disponibles, con exclusión de todos los bloques durante el SES. Por consiguiente:

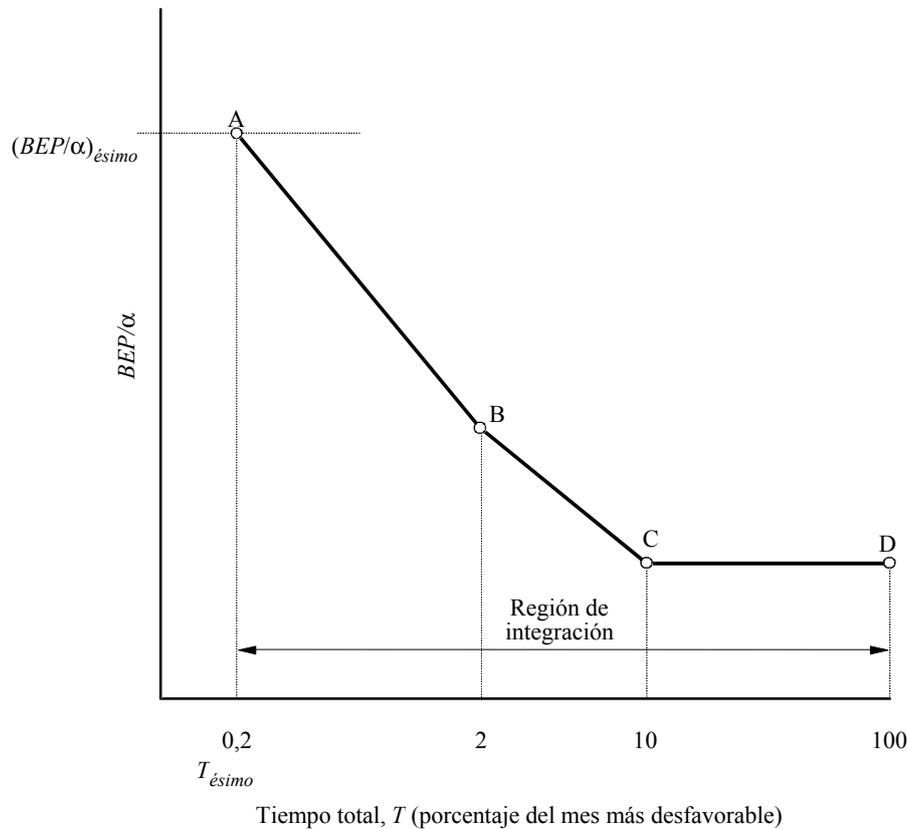
$$BBER = \frac{\int_{T_a} \left(\sum_{k=1}^{0,3n} P_{n,k}(t) \cdot k \right) dt}{n \cdot \left(T_a - \int_{T_a} P_{SES}(t) \cdot dt \right)} = \frac{\sum_{k=1}^{0,3n} \left(\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{n,k}(t) \cdot dt \right) \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)} \quad (11)$$

Si se determina $\overline{P_{n,k}} = \frac{\int P_{n,k} \cdot dt}{T_a}$, BBER puede expresarse como:

$$BBER = \frac{\sum_{k=1}^{0,3n} \overline{P_{n,k}} \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)} \quad (12)$$

Sin embargo, al seleccionar el valor de $BEP_{\acute{e}simo}/\alpha$ para la generación de las plantillas, debe considerarse la aparición de interpretaciones de puntero incorrectas (IPI, *incorrect pointer interpretations*), que son esenciales para el adecuado funcionamiento de los enlaces SDH. Con las mediciones efectuadas se ha mostrado que IPI aumenta notablemente en una BEP de aproximadamente 1×10^{-7} o más allá de esa probabilidad, que es notablemente inferior a aquella en que los módems de satélite experimentan pérdidas de sincronización. En vista de ello, serán necesarios nuevos estudios para definir un umbral de la BEP para IPI, denominado aquí BEP_{IPI} , donde el enlace de satélite SDH no estará disponible dado que será un factor de limitación. A los efectos de la presente Recomendación, se ha utilizado el valor de $BEP_{\acute{e}simo}/\alpha$ (igual a BEP_{IPI}/α) de 1×10^{-9} .

FIGURA 1
Forma general de la plantilla



1521-01

Este método dará como resultado un número infinito de plantillas que cumplen los objetivos de calidad de la Recomendación UIT-T G.828. Por consiguiente, para definir una plantilla y determinar los puntos B, C y D de la misma (véase la Fig. 2) se utiliza el proceso siguiente:

Paso 1: Se fija el valor de $BEP_{\acute{e}simo}/\alpha = 1 \times 10^{-9}$.

Paso 2: Se fija el valor de tiempo de umbral de indisponibilidad, $T_{\acute{e}simo}$, ($T_{\acute{e}simo} = 0,2\%$) de modo que el punto A corresponda al valor de $BEP_{\acute{e}simo}/\alpha$.

Paso 3: Se fijan los valores de la plantilla para el 2%, 10% y 100% del tiempo (puntos B, C y D).

Paso 4: Se calculan ESR, SESR y BBER integrando la región entre $T_{\acute{e}simo}$ (0,2%) y 100%. Al calcular estas plantillas, se supone que el enlace de satélite no está disponible para los valores de PBE superiores a $BEP_{\acute{e}simo}/\alpha$.

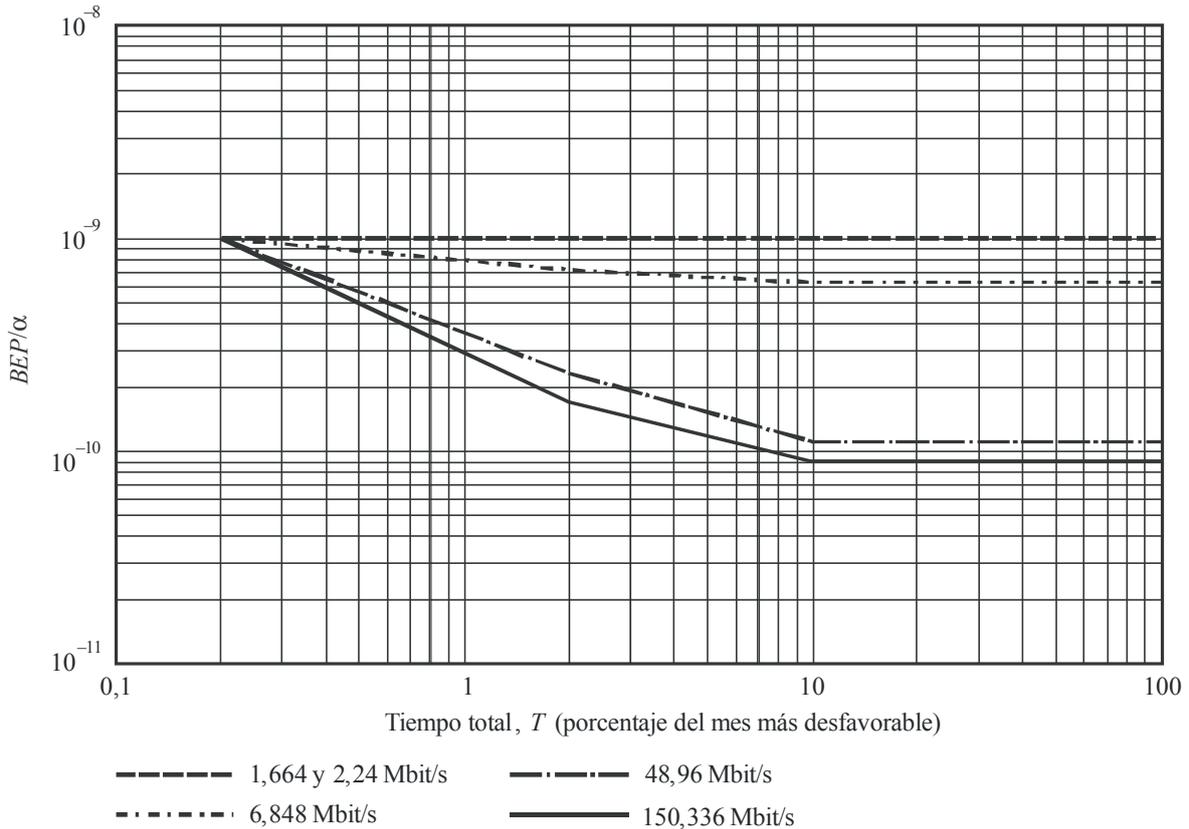
Paso 5: Se repiten los Pasos 3 y 4 hasta que todos los parámetros (ESR, SESR y BBER) cumplan los objetivos que figuran en el Cuadro 3.

Este proceso garantiza que se obtiene un tiempo de indisponibilidad del enlace de 0,2%.

En virtud de este proceso y de las hipótesis adicionales de que los valores de BEP/α correspondientes a los puntos C y D son iguales, se elaboró el ejemplo de grupo de plantillas para varias velocidades de transmisión que se representa en la Fig. 2.

FIGURA 2

Plantillas generadas para tramos por satélite



$\alpha = 10$

El umbral de la BEP es $= 1 \times 10^{-8}$

El tiempo de disponibilidad de 0,002 a 1

Todos los modelos cumplen los criterios de BBER

Los modelos para 1,664 y 2,24 Mbit/s también cumplen los criterios de ESR.

1521-02

3 Relación entre la BER y la proporción de sucesos erróneos

Como es bien sabido, los errores en los enlaces por satélite utilizan 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 una distribución de Poisson. La proporción 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. Por ejemplo, en un canal con errores binarios aleatorios sin FEC y aleatorizador, se considera que α toma el valor de uno. Con esquemas de regulación de orden superior, sin embargo, α puede ser mayor de uno.

En un esquema FEC determinado, los valores teóricos de α pueden estimarse utilizando la distribución de peso del esquema FEC. La base para obtención del valor teórico aparece en el § 3.1. Las propiedades estadísticas de las agrupaciones de errores dependen del esquema FEC/aleatorizador utilizado. Para determinar el factor α se utilizaron simulaciones informáticas y mediciones de diversos esquemas FEC (sin aleatorizador o codificación diferencial). En esta simulación se ha supuesto un canal de ruido gaussiano blanco aditivo. Estos resultados aparecen en los § 3.2 a § 3.6.

3.1 Obtención del número medio de bits erróneos en una agrupación

Dado un código de bloque sistemático (n,k) C , su función de numeración de peso conocida (WEF) es:

$$B^C(H) \triangleq \sum_{i=0}^n B_i H^i \quad (13)$$

donde:

- B_i : número (entero) de claves de código con ponderación Hamming (número de unos) i
- H : variable ficticia.

La WEF de un código puede utilizarse para calcular la expresión exacta de la probabilidad de errores sin detectar y un límite superior de la probabilidad de errores en la palabra.

La función de numeración de peso de la redundancia de entrada (IRWEF) del código puede definirse como sigue:

$$A^C(W, Z) \triangleq \sum_{w,j} A_{w,j} W^w Z^j \quad (14)$$

donde $A_{w,j}$ es el número (entero) de palabras código generado por una palabra de información de entrada de ponderación Hamming w cuyos bits de comprobación de paridad tienen una ponderación j , de manera que la ponderación Hamming global sea $w + j$. La IRWEF muestra las contribuciones separadas de la información y de los bits de comprobación de paridad a la ponderación de Hamming total de las palabras código, por consiguiente proporciona información adicional sobre el perfil de ponderación (Hamming) del código.

Utilizando la anterior expresión, puede determinarse el límite superior de la BEP, P_b , como sigue:

$$P_b \leq \sum_{m=d_{min}}^{\infty} D_m P(R_m'' | C_0) \quad (15)$$

Donde d_{min} es la mínima distancia del código y $P(R_m'' | C_0)$ es la probabilidad de que el decodificador seleccione la palabra código de ponderación m siempre que la palabra código transmitida sea una palabra código compuesta únicamente de ceros, y:

$$D_m = \sum_{j+w=m} \frac{w}{k} A_{w,j} \quad (16)$$

Por consiguiente, el número medio de bits en una agrupación α será el valor medio de w , y se obtiene:

$$\bar{w} = \sum_{m=d_{min}}^{\infty} \sum_{m=w+j} w A_{w,j} P_m \tag{17}$$

siendo P_m la probabilidad de eventos con error con m errores en todos los eventos erróneos. Como P_m disminuye rápidamente con m , especialmente para valores BEP bajos, \bar{w} puede aproximarse mediante la expresión:

$$\bar{w} \approx \sum_{d_{min}=w+j} w A_{w,j} P_{d_{min}} \tag{18}$$

3.2 Factores para los códigos BCH binarios

Utilizando la ecuación (19) pueden estimarse α valores para los códigos BCH sistemáticos. El Cuadro 5 muestra a la distribución de ponderación del código BCH (7,4) y la mínima distancia del código (7,4) es 3. Por tanto, el valor α del código puede determinarse como sigue:

$$\bar{w}_{(7,4)} = \alpha_{(7,4)} \approx 1 \times \frac{3}{7} + 2 \times \frac{3}{7} + 3 \times \frac{1}{7} \cong 1,7 \tag{19}$$

CUADRO 5

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

El Cuadro 6 muestra el valor estimado de α para varios códigos BCH, y el Cuadro 7 compara los resultados de la simulación para el código BCH (15,11) con los resultados estimados. A medida que la BER disminuye, el valor estimado se aproxima al valor de simulación.

Para códigos no sistemáticos, cuando falla la decodificación, aproximadamente la mitad de la palabra de información será errónea. En este caso, α puede aproximarse a $k/2$.

CUADRO 6

Valores α teóricos estimados para diversos códigos BCH

Código BCH (n,k)	α	Código extendido (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 7

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

BER	α simulado	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 para los códigos convolucionales

Puede aplicarse un método similar a los códigos convolucionales. Para los códigos convolucionales conocidos varios estudios han identificado sus distribuciones de peso en términos de a_d , número de palabras código de distancia d , y c_d , suma de errores en los bits (el peso de error de información) para palabras código de distancia d . Con la misma aproximación a los códigos BCH binarios, $\bar{w} (= \alpha)$ para los códigos convolucionales puede aproximarse a $(c_{d_f})/(a_{d_f})$, donde d_f es la distancia libre del código.

El Cuadro 8 muestra las distribuciones de peso de los códigos convolucionales populares y el Cuadro 9 compara los valores de α estimados teóricamente y los valores simulados. Como se confirmó en los códigos BCH binarios, los valores estimados de α son casi igual a los valores simulados para gamas de valores de la BER bajos.

CUADRO 8

Distribución de peso de los códigos convolucionales

Índice del código R	Límite de longitud K	Generador (octal)	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 ⁽¹⁾	7	133, 171	6	(1, 16, 48, 158, 642, 2 435, 9 174 ...) (3, 70, 285, 1 276, 6 160, 27 128, ...)
7/8 ⁽¹⁾	7	133, 171	3	(2, 42, 468, 4 939, 52 821 ...) (14, 389, 6 792, 97 243, 1 317 944 ...)

⁽¹⁾ Códigos perforados a partir del código R 1/2 con K = 7.

3.4 Factores para códigos concatenados

Para un código concatenado con un código exterior Reed-Solomon (RS) y un código interno convolucional, el valor de α está directamente relacionado con la distribución de peso del código RS porque este código es el código exterior. El valor de α para los códigos RS puede calcularse utilizando la misma regla empleada en el código BCH binario si se utiliza la decodificación de máxima probabilidad. En este caso debe determinarse la distribución de peso binaria de los códigos RS.

CUADRO 9

Comparación de los valores de α teóricos y simulados para códigos convolucionales

Índice del código R	Límite de longitud K	Generador (octal)	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
	9	561, 753	12	3,00	$1,07 \times 10^{-7}$	3,00
					$1,22 \times 10^{-2}$	13,00
					$1,77 \times 10^{-3}$	11,56
					$2,10 \times 10^{-5}$	4,38
2/3	7	133, 171	6	3,00	$4,20 \times 10^{-7}$	3,96
					$3,61 \times 10^{-2}$	8,00
					$7,86 \times 10^{-4}$	7,14
					$2,96 \times 10^{-6}$	5,32
7/8	7	133, 171	3	7,00	$2,14 \times 10^{-7}$	5,67
					$6,24 \times 10^{-2}$	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

El Cuadro 10 muestra los valores de α simulados para los códigos RS en el esquema de codificación concatenado especificado en las Recomendaciones UIT-R BO.1724 y UIT-R S.1709. Se utiliza el código acortado RS (204,188) del código RS (255,239) original. El código acortado RS (71,55) también se emplea para un paquete de tamaño diferente.

CUADRO 10

Valores de α simulados para códigos RS en el esquema de codificación concatenado

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 para códigos turbo

En el caso de códigos turbo, puede utilizarse un método similar a los códigos convolucionales debido a que se basan en códigos convolucionales. El Cuadro 11 muestra las distribuciones de peso de los códigos turbo especificadas en las Recomendaciones UIT-R BO.1724 y UIT-R S.1709 y el Cuadro 12 muestra los correspondientes valores de α estimados. El Cuadro 13 presenta los valores de α simulados para un tamaño de paquete de 53 bytes. Como los códigos turbo utilizan un algoritmo de decodificación iterativo, los valores de α y BER dependen del algoritmo de decodificación y del número de iteraciones. En la simulación, se utilizó un algoritmo de decodificación MAP de máxima longitud y los valores de α se estimaron con iteraciones de 6 y 15. Como los valores teóricos estimados de α en el Cuadro 14 pueden considerarse como un límite inferior, son más pequeños que los valores simulados que figuran en el Cuadro 15.

CUADRO 11

Distribución de peso de los códigos turbo ($d_f/a_d/c_d$)

Tamaño del paquete (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 12

Valores de α aproximados teóricamente para códigos turbo

Tamaño del paquete (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 13

Valores de α simulados para códigos turbo

Número de iteraciones	$R = 1/3$ 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 para códigos turbo de bloque

Los códigos turbo de bloque (BTC) son códigos de producto que se decodifican de manera iterativa. La mínima distancia de un código de producto es el producto de las mínimas distancias de sus códigos componentes. Por ejemplo, la mínima distancia de un código de producto m -dimensional con el mismo código constituyente de mínima distancia d_{min} será $(d_{min})^m$. Utilizando el mismo principio, el valor de α para un BTC α_{BTC} puede obtenerse como sigue:

$$\alpha_{BTC} = \alpha_{c_1} \cdot \alpha_{c_2} \cdots \alpha_{c_m} \quad (20)$$

donde α_{c_i} es el valor α para el i -ésimo código componente. Los códigos sistemáticos binarios indicados en el § 3.2 normalmente se utilizan como códigos componentes.

El Cuadro 14 muestra los valores de α_{BTC} estimados teóricamente utilizando la ecuación (20) suponiendo en el BTC los mismos códigos componentes previamente empleados. Por consiguiente, el valor de α_c en el Cuadro 14 es igual a los valores en el Cuadro 6. Los Cuadros 15 y 16 comparan los valores estimados teóricamente y los valores simulados para BTC bidimensionales. Como se confirma en los § 3.2 y 3.3 los valores estimados son casi iguales a los valores simulados para gamas de valores de la BER bajos.

CUADRO 14

Valores aproximados teóricamente 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 15

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

E_b/N_0 (dB)	BER	α_{BTC}	Código componente	
			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 16

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

E_b/N_0 (dB)	BER	α_{BTC}	Código componente	
			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 Resultados de otras mediciones y resumen

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

De estos resultados puede deducirse que α es la función de la distribución de peso del esquema FEC y la BER. La repercusión del parámetro α sobre el modelo de comportamiento puede evaluarse como sigue.

Las plantillas de la Fig. 2 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 estudios han mostrado que las plantillas requeridas para satisfacer los objetivos de la Recomendación UIT-G.828 dependen de la velocidad de transmisión.

Las plantillas de diseño dependen también de la distribución 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.

5 Lista de acrónimos y abreviaturas

ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BBE	Error de bloque de fondo (<i>background block error</i>)
BBER	Tasa de bloques con errores de fondo (<i>background block error ratio</i>)
BEP	Probabilidad de bits erróneos (<i>bit error probability</i>)
BER	Proporción de bits erróneos (<i>bit error ratio</i>)
BIP	Paridad de entrelazado de bits (<i>bit interleaved parity</i>)
BTC	Código turbo de bloque (<i>block turbo code</i>)
CSES	Segundos consecutivos con muchos errores (<i>consecutive severely errored second</i>)
EB	Bloque con errores (<i>errored block</i>)
EDC	Código de detección de errores (<i>error detection code</i>)
ES	Segundo con errores (<i>errored second</i>)
ESR	Tasa de segundos con error (<i>errored second ratio</i>)
FEC	Corrección de errores en recepción (<i>forward error-correction</i>)
HRDP	Trayecto digital ficticio de referencia (<i>hypothetical reference digital path</i>)
HRP	Trayecto ficticio de referencia (<i>hypothetical reference path</i>)
IPI	Interpretaciones de puntero incorrectas (<i>incorrect pointer interpretations</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SEP	Periodo con muchos errores (<i>severely errored period</i>)
SEPI	Intensidad del periodo con muchos errores (<i>severely errored period intensity</i>)
SES	Segundo con muchos errores (<i>severely errored second</i>)
SESR	Tasa de segundos con muchos errores (<i>severely errored seconds ratio</i>)
SFS	Servicio fijo por satélite (<i>fixed-satellite service</i>)
STM	Módulo de transferencias síncrono (<i>synchronous transfer module</i>)
TC	Conexión en cascada (<i>tandem connection</i>)
VC	Contenedor virtual (<i>virtual container</i>)
