



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.955

(03/93)

**SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS
DE LÍNEA DIGITALES**

**SISTEMAS DE LÍNEA DIGITAL
BASADOS EN LAS JERARQUÍAS
DE 1544 kbit/s Y 2048 kbit/s
EN CABLES DE FIBRA ÓPTICA**

Recomendación UIT-T G.955

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

PREFACIO

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. El UIT-T tiene a su cargo el estudio de las cuestiones técnicas, de explotación y de tarificación y la formulación de Recomendaciones al respecto con objeto de normalizar las telecomunicaciones sobre una base mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se reúne cada cuatro años, establece los temas que habrán de abordar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que preparan luego Recomendaciones sobre esos temas.

La Recomendación UIT-T G.955, revisada por la Comisión de Estudio XV (1988-1993) del UIT-T, fue aprobada por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

1 Como consecuencia del proceso de reforma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el CCITT dejó de existir el 28 de febrero de 1993. En su lugar se creó el 1 de marzo de 1993 el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). Igualmente en este proceso de reforma, la IFRB y el CCIR han sido sustituidos por el Sector de Radiocomunicaciones.

Para no retrasar la publicación de la presente Recomendación, no se han modificado en el texto las referencias que contienen los acrónimos «CCITT», «CCIR» o «IFRB» o el nombre de sus órganos correspondientes, como la Asamblea Plenaria, la Secretaría, etc. Las ediciones futuras en la presente Recomendación contendrán la terminología adecuada en relación con la nueva estructura de la UIT.

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

© UIT 1994

Reservados todos los derechos. No podrá reproducirse o utilizarse la presente Recomendación ni parte de la misma de cualquier forma ni por cualquier procedimiento, electrónico o mecánico, comprendidas la fotocopia y la grabación en micropelícula, sin autorización escrita de la UIT.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Consideraciones generales	1
2 Tipo de medio de transmisión	1
3 Margen de los sistemas	1
3.1 Margen del cable (M_c)	2
3.2 Margen del equipo (M_e)	3
4 Especificaciones de los sistemas	3
4.1 Longitud de la sección de regeneración	3
4.2 Característica de error	3
4.3 Gama dinámica del receptor	6
4.4 Fuente óptica	6
4.5 Gama de longitudes de onda de trabajo	6
4.6 Márgenes de trayecto óptico para los sistemas de fibra multimodo	7
4.7 Márgenes de trayecto óptico para sistemas de fibra monomodo	7
4.8 Margen del equipo (M_e)	7
4.9 Multiplexación por división de longitud de onda	7
5 Alimentación de energía	7
6 Sistemas para aplicaciones de corta distancia	8
7 Condiciones de trabajo	8
8 Características de diseño globales	8
9 Estrategia de mantenimiento	9
9.1 Tipo de supervisión y localización de averías	9
9.2 Condiciones de avería y acciones consiguientes	9
10 Consideraciones de seguridad	9
Apéndice I – Cálculo de la longitud de la sección de regeneración	9
I.1 Métodos	9
I.2 Formulario de datos estadísticos	12
I.3 Ejemplos	13
I.4 Ejemplo de balance de potencia óptica estadística	13

SISTEMAS DE LÍNEA DIGITAL BASADOS EN LAS JERARQUÍAS DE 1544 kbit/s Y 2048 kbit/s EN CABLES DE FIBRA ÓPTICA¹⁾

(Melbourne, 1988; revisada en Helsinki 1988)

1 Consideraciones generales

Esta Recomendación trata de los sistemas de línea digital basados tanto en la jerarquía de 1544 kbit/s como en la de 2048 kbit/s para la transmisión de señales por cables de fibra óptica, e incluye los sistemas con las siguientes velocidades binarias:

2 048 kbit/s	1 544 kbit/s
8 448 kbit/s	3 152 kbit/s
34 368 kbit/s	6 312 kbit/s
139 264 kbit/s	32 064 kbit/s
4 × 139 264 kbit/s	44 736 kbit/s
	$n \times 44 736$ kbit/s
	97 728 kbit/s
	4 × 97 728 kbit/s

Los requisitos de calidad de funcionamiento global y los interfaces de las correspondientes secciones de línea digital se indican en las Recomendaciones de la serie G.900.

El objeto de esta Recomendación es permitir la compatibilidad longitudinal de secciones elementales de cable de sistemas de línea digital diferentes, es decir, la posibilidad de instalar en el mismo cable de fibra óptica sistemas de línea digital producidos por diferentes fabricantes.

Para los fines de esta Recomendación, un sistema de línea digital de fibra óptica puede representarse como en la Figura 1. El sistema puede no tener ningún regenerador intermedio, como en el diagrama a) de la Figura 1, tener un regenerador intermedio, como en el diagrama b) de la Figura 1, o un número mayor, según el diseño del sistema y la longitud de la ruta.

Esta Recomendación trata de los requisitos del equipo destinado a satisfacer los objetivos de funcionamiento pertinentes de las Recomendaciones G.821 y G.921 en todas las condiciones de funcionamiento normalmente previstas. En cualquier caso, la Recomendación G.821 sigue siendo el objetivo predominante de funcionamiento de la red.

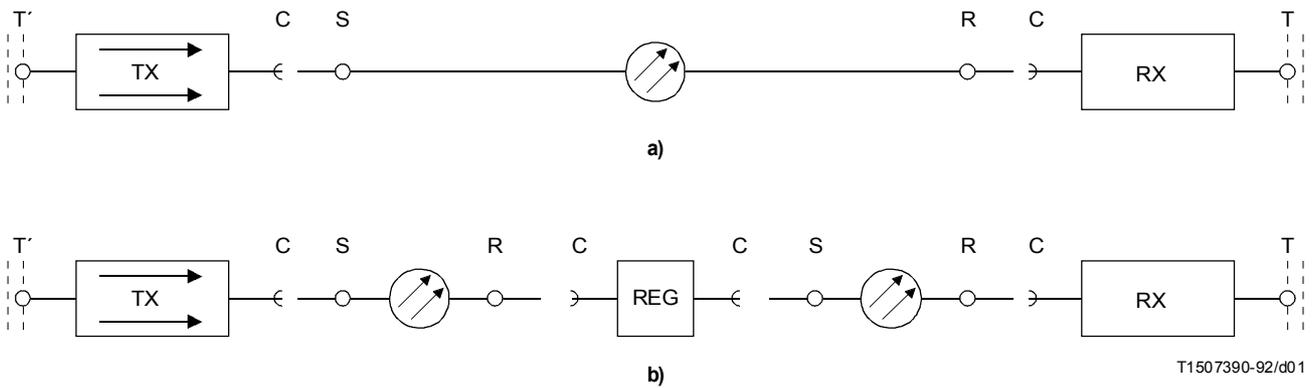
2 Tipo de medio de transmisión

Las fibras ópticas multimodo conformes a la Recomendación G.651 o las fibras ópticas monomodo conformes a las Recomendaciones G.652, G.653 y G.654, se consideran adecuadas para estos sistemas. Pueden funcionar en la región de los 850 nm, 1310 nm o 1550 nm, o en otra longitud de onda, según los tipos de fibra y de sistema empleados. La atenuación que se considera más apropiada para funcionar en las diversas velocidades binarias y longitudes de onda será elegida por las Administraciones en relación con las características del enlace que ha de realizarse y de acuerdo con esta Recomendación. Análogamente, las pérdidas por empalme, las pérdidas por conector y el margen del cable deberán elegirse en unión de la atenuación de la fibra a fin de obtener la atenuación global especificada en 4.

3 Margen de los sistemas

Para los fines de esta Recomendación, el margen total [diagrama a) de la Figura 1], o el margen de la sección de regeneración [diagrama b) de la Figura 1] se subdivide en dos contribuciones principales. La disposición de estos márgenes se muestra en la Figura 2.

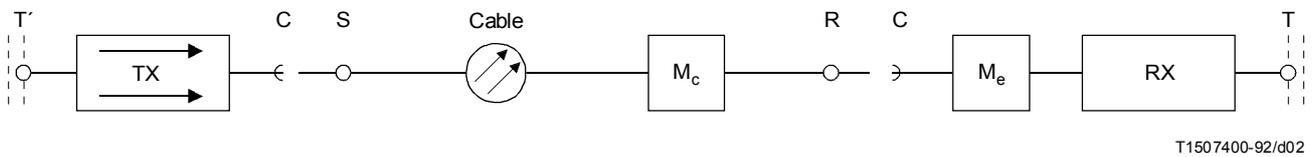
¹⁾ La Recomendación G.955 reemplaza totalmente las Recomendaciones G.955 y G.956 que figuran en el *Libro Azul*.



T, T' Interfaz de equipo de conformidad con la Recomendación G.703.
 S Punto de la fibra óptica inmediatamente después del conector (C) óptico del transmisor (TX) o del regenerador (REG).
 R Punto de la fibra óptica inmediatamente antes del conector (C) óptico del receptor (RX) o del regenerador (REG).

NOTA – Los conectores adicionales en repartidor (si se utiliza) se consideran parte del enlace de fibra y situados entre los puntos S y R.

FIGURA 1/G.955



NOTA – M_e representa la totalidad de degradaciones de los equipos combinadas desde el transmisor y el receptor.

FIGURA 2/G.955

3.1 Margen del cable (M_c)

El margen del cable M_c cubre las asignaciones para:

- i) modificaciones futuras de la configuración del cable (empalmes adicionales, largos de cable suplementarios, etc.);
- ii) las variaciones de las características de la fibra debidas a cambios ambientales;
- iii) cualquier degradación de los conectores entre los puntos S y R, cuando éstos existen.

3.2 Margen del equipo (M_e)

El margen del equipo (M_e) cubre las asignaciones para los efectos del tiempo y de los factores ambientales en el funcionamiento del equipo (por ejemplo, degradaciones de potencia inyectada en el transmisor, sensibilidad del receptor y conectores del equipo).

NOTAS

1 El margen de diseño, que cubre la asignación para las tolerancias de las características de los diversos componentes del sistema, no se considera, pues los valores del caso más desfavorable se reflejan en las especificaciones de 4.

2 El margen de diseño está en relación con el umbral de tasa de errores en los bits BER, (*bit error ratio*) de 1×10^{-10} , aunque por razones prácticas las mediciones de la sensibilidad del receptor se realizan en otros umbrales.

3 Las soluciones adoptadas en esta Recomendación dejan cierto margen adicional en los sistemas en explotación, que puede considerarse como margen no atribuido.

4 Especificaciones de los sistemas

El enlace óptico de una sección de regeneración puede representarse en la forma de la Figura 2 desde el punto de vista de las especificaciones de los sistemas.

Como requisito mínimo de longitud de sección máxima de sistemas disponibles comercialmente típicos, el transmisor y el receptor deberán diseñarse de modo que satisfagan los requisitos de característica de error de 4.2, con un trayecto óptico como el definido en 4.6 ó 4.7.

4.1 Longitud de la sección de regeneración

La longitud de sección de regeneración que puede obtenerse con los sistemas especificados en esta Recomendación está relacionada con las características de la fibra y las capacidades específicas del equipo transmisor/receptor.

En el Apéndice I se presentan ejemplos.

En los sistemas multimodo, la descripción de la respuesta de banda de base mediante un valor único (la anchura de banda óptica a -3 dB) puede no ser suficiente para determinar la idoneidad de la fibra para el sistema especificado. En algunos casos, puede ser necesaria una descripción más detallada de la característica o la descripción de la respuesta a los impulsos. Además, se supone que la anchura de banda óptica a -3 dB incluye las contribuciones modales y cromáticas.

En los sistemas monomodo, una característica de principio es que, para una longitud de sección dada, presenten un ensanchamiento del impulso inferior al de los sistemas multimodo, siempre y cuando la longitud de onda central del láser esté suficientemente cerca de la longitud de onda de dispersión nula de la fibra.

En general, en los sistemas de fibra monomodo que emplean fuentes láser y funcionan cerca o por debajo de la velocidad binaria nominal de $6 \times 44\,736$ kbit/s, se supone que la longitud de la sección de regeneración estará limitada por la pérdida y no por la dispersión. A velocidades binarias superiores, la longitud de sección puede estar limitada por la dispersión. Por lo tanto, es aconsejable verificar si la longitud de la sección de regeneración está limitada por la pérdida o por la dispersión.

- *Sistemas limitados por la pérdida:* La longitud de la sección de regeneración limitada por la pérdida puede calcularse teniendo en cuenta la ganancia del sistema, la pérdida debida a la suma de las pérdidas del conector y del empalme, la atenuación de la fibra a la longitud de onda de explotación, el margen del cable y la pérdida adicional debida a cualquier efecto de dispersión (incluido el ruido de partición modal).
- *Sistemas limitados por la dispersión:* La longitud de la sección de regeneración limitada por la dispersión depende de la tolerancia del receptor a la distorsión del impulso (por ejemplo, debido a las características espectrales de la fuente del transmisor, al ruido de partición de modo y a la dispersión cromática de la fibra). La determinación de la longitud de la sección debe ser coherente con la Recomendación G.651 para los sistemas de fibra multimodo y con la Recomendación G.957 para los sistemas de fibra monomodo.

4.2 Característica de error

El transmisor y el receptor deben diseñarse de manera que se obtenga una BER no peor que 1×10^{-10} cuando se funcione por un trayecto óptico entre puntos S y R correspondientes a los valores pertinentes dados en el Cuadro 1 para los sistemas de fibra multimodo y en el Cuadro 2 para los sistemas de fibra monomodo.

Márgenes de trayecto óptico recomendados para los sistemas de línea digital por fibra óptica multimodo conforme con la Recomendación G.651 con una sola señal óptica de transmisión

Velocidad binaria nominal (kbit/s)	Longitud de onda nominal (nm)	Tipo de fuente	Márgenes entre S y R con BER de 1×10^{-10}	
			Atenuación máxima (dB)	Anchura de banda óptica global mínima a -3 dB (MHz)
2048	850	Láser	51	10
		LED	a)	10
	1310	Láser	46	10
		LED	30	10
6312	850	Láser	47	17
		LED	34	17
	1310	Láser	34	17
		LED	21	17
8448	850	Láser	47	20
		LED	a)	a)
	1310	Láser	a)	a)
		LED	a)	a)
32 064	850	Láser	a)	a)
		LED	a)	a)
	1310	Láser	33	65
		LED	a)	a)
34 368	850	Láser	41	50
		LED	a)	a)
	1310	Láser	35	50
		LED	22 ^{b)}	50
44 736	850	Láser	42	62
		LED	29	62
	1310	Láser	33	62
		LED	21	62
2 × 44 736	850	Láser	42	90
		LED	a)	a)
	1310	Láser	30	81
		LED	a)	a)
97 728	850	Láser	a)	a)
		LED	a)	a)
	1310	Láser	31	100
		LED	a)	a)
3 × 44 736	850	Láser	a)	a)
		LED	a)	a)
	1310	Láser	28	120
		LED	a)	a)
139 264	850	Láser	35	100
		LED	a)	a)
	1310	Láser	27	100
		LED	18 ^{b)}	100

a) Valores en estudio.

b) Valor provisional.

NOTAS

1 La descripción de la respuesta de banda de base mediante un valor único (la anchura de banda óptica a -3 dB) puede no ser suficiente para determinar si la fibra es adecuada para el sistema especificado. Se puede suponer una respuesta de impulso casi gaussiana para fines de diseño, pero en algunos casos puede resultar necesaria una descripción más detallada de la respuesta de la fibra.

2 En el caso de sistemas de LED, los valores del Cuadro suponen que la fibra óptica tiene una apertura numérica nominal de 0,20 a 0,21. Además, se supone que la anchura de banda óptica global a -3 dB (modal + cromática) se mide con una fuente óptica que tiene una anchura total a media altura máxima de 60 nm y 100 nm, centradas en 850 nm y 1310 nm respectivamente.

3 Los valores dados en este Cuadro son para tipos de fuente distintas de los láseres de modo monolongitudinal (SLM, *single longitudinal mode*).

4 Para otras consideraciones véase el 4.1, Longitud de la sección de regeneración.

Márgenes de trayecto óptico recomendados para los sistemas de línea digital por fibra óptica monomodo, conforme con la Recomendación G.652, con una sola señal óptica de transmisión

Velocidad binaria nominal (kbit/s)	Longitud de onda nominal (nm)	Tipo de fuente	Márgenes entre S y R con BER de 1×10^{-10}	
			Atenuación máxima (dB)	Dispersión máxima ps/nm (Nota 1)
2048	1310	Laser	46	N/A
	1550		a)	a)
8448	1310	Laser	40	N/A
	1550		a)	a)
34 368	1310	Laser	35	N/A (MLM)
	1550		a)	a)
44 736	1310	Laser	32	N/A (MLM)
	1550		a)	a)
97 728	1310	Laser	31	a)
	1550		a)	a)
3 × 44 736	1310	Laser	28	N/A (MLM)
	1550		a)	a)
139 264	1310	Laser	28	215 (MLM) (Nota 4)
	1550		28	a)
4 × 44 736	1310	Laser	26	N/A (MLM)
	1550		a)	a)
6 × 44 736	1310	Laser	26	(Nota 2)
	1550		a)	a)
4 × 97 728	1310	Laser	28	(Nota 2)
	1550		a)	a)
9 × 44 736	1310	Laser	26	(Nota 2)
	1550		a)	a)
12 × 44 736	1310	Laser	24	(Nota 2)
	1550		a)	a)
4 × 139 264	1310	Laser	24	120 (MLM) (Nota 3)
	1550		24 (Nota 5)	a)
18 × 44 736	1310	Laser	24	(Nota 2)
	1550		a)	a)
24 × 44 736	1310	Laser	24	(Nota 2)
	1550		a)	a)
36 × 44 736	1310	Laser	23	(Nota 2)
	1550		a)	a)
a) Valores en estudio. N/A No aplicable.				

NOTAS

- 1 La referencia de los láseres MLM o SLM está relacionada con una condición mínima del límite de dispersión indicado. En caso de láseres MLM, no deben excluirse los láseres SLM.
- 2 Las longitudes de sección de regeneración pueden estar limitadas por la dispersión. Los valores específicos dependen de varios factores y requieren un ulterior estudio. Véanse otras consideraciones en 4.1, Longitud de la sección de regeneración.
- 3 Este valor indica la máxima dispersión admisible de los sistemas de $4 \times 139\ 264$ kbit/s en los límites de la gama de longitudes de onda de trabajo especificada (1285 y 1330 nm). El proveedor del sistema deberá determinar toda repercusión negativa resultante considerando el efecto del ruido de partición de modo, la dispersión cromática, etc., debido a las características espectrales de la fuente óptica. Para lograr un funcionamiento fiable de los sistemas, puede ser necesario limitar la dispersión máxima a la longitud de onda de trabajo del sistema a menos de 100 ps/nm, lo que puede lograrse limitando la longitud de onda de trabajo del sistema a una gama de longitudes de onda reducida, próxima a la de dispersión nula de la fibra.
- 4 Este valor indica la máxima dispersión admisible de los sistemas de 139 264 kbit/s en los límites de la gama de longitudes de onda de trabajo especificada (1280 - 1335 nm).
- 5 Hay varias situaciones de red en las que se plantea la necesidad de aumentar el valor de la longitud del tramo de regeneración de los sistemas de 4×140 Mbit/s a 1550 nm con respecto a los sistemas de 4×140 Mbit/s en 1310 nm (ya instalados). En estos casos podría ser necesaria una atenuación disponible superior a 24 dB entre los puntos S y R. Esta exigencia se debe a la necesidad de utilizar infraestructura de red existente (por ejemplo, cabinas de repetidor construidas para sistemas existentes de 4×140 Mbit/s en 1310 nm).
- 6 Los valores de atenuación máxima podrán incrementarse en algunos casos mediante la utilización futura de amplificadores de fibra óptica (OFA, *optical fibre amplifiers*). Los detalles quedan en estudio.

4.3 Gama dinámica del receptor

La gama dinámica del receptor óptico debe adaptarse automáticamente a una gama de niveles que permita compensar las tolerancias de fabricación del equipo, las gamas y tolerancias de atenuación del cable y los efectos de la temperatura y el envejecimiento.

Conviene también que la gama dinámica del receptor reduzca también al mínimo la necesidad de atenuadores de complemento de línea.

4.4 Fuente óptica

Los sistemas multimodo pueden emplear como fuentes, láseres o diodos electroluminiscentes. Los sistemas monomodo emplean generalmente láseres, si bien los diodos electroluminiscentes pueden tener aplicaciones específicas a ciertas velocidades binarias. Los sistemas monomodo que utilizan diodos electroluminiscentes quedan en estudio.

4.5 Gama de longitudes de onda de trabajo

Las longitudes de ondas nominales de 850 nm y 1310 nm implican una posible utilización a cualquier longitud de onda de las gamas 820 a 910 nm y 1280 a 1335 nm respectivamente, en sistemas que funcionan hasta velocidades binarias nominales de 140 Mbit/s inclusive. Para sistemas a velocidades binarias superiores a la nominal, la gama de 1310 nm se reduce a 1285 a 1330 nm. La gama para la región de 1550 nm está actualmente en estudio.

Hay que señalar que las longitudes de onda de funcionamiento de 1310 nm y 1550 nm corresponden a frecuencias ópticas de unos 229 THz y 193 THz, respectivamente.

NOTAS

- 1 En los sistemas monomodo que funcionan en la gama de 1310 nm, el límite inferior de longitud de onda viene determinado por la dispersión y la longitud de onda de corte, mientras que su límite superior viene determinado por la dispersión y la atenuación. En particular, debe señalarse que la gama indicada en esta Recomendación es limitada frente a la gama de dispersión de 1271 a 1360 nm indicada en la Recomendación G.652, debido a la posibilidad de pérdidas excesivas relacionadas con las crestas de OH. Para garantizar el funcionamiento satisfactorio del sistema, la longitud de onda de corte del tramo más corto de fibra cableada en una sección elemental de cable monomodo no debe exceder la longitud de onda de trabajo. El modo de segundo orden (LP_{11}) debe quedar suficientemente atenuado a lo largo de la fibra para que el ruido modal del detector y los efectos de dispersión bimodal resulten insignificantes.

2 Las gamas de longitudes de onda nominales especificadas más arriba se aplican a los LED y a los láseres de modo multilongitudinal (MLM, *multilongitudinal mode*). Los láseres de modo unilongitudinal (SLM, *single longitudinal mode*) quedan en estudio.

4.6 Márgenes de trayecto óptico para los sistemas de fibra multimodo

Los márgenes de trayecto óptico entre los puntos S y R se indican en el Cuadro 1 para los sistemas de fibra multimodo se emplean LED o láseres MLM. Estos márgenes incluyen el margen del cable, M_c , y también la atenuación global, así como la anchura de banda óptica a 3 dB.

Estos márgenes representan los valores del parámetro en el peor caso, según la práctica actual, dentro de los cuales se puede diseñar un sistema. Las compensaciones mutuas entre la anchura de banda, atenuación, dispersión, codificación, etc., pueden modificar estos parámetros.

El cálculo de la atenuación entre los puntos S y R debe tener en cuenta la variación de la pérdida de la fibra óptica en la gama de longitud de onda real de la fuente óptica.

4.7 Márgenes de trayecto óptico para sistemas de fibra monomodo

En el Cuadro 2 se presentan los márgenes de trayecto óptico entre los puntos S y R de los sistemas de fibra monomodo que emplean diodos fotoemisores (LED, *light emission diodes*) o láseres del modo multilongitudinal (MLM, *multi longitudinal mode*). Estos márgenes incluyen el margen de cable, M_c , y también la atenuación y dispersión globales.

Estos márgenes representan los valores del parámetro en el peor caso, según la práctica actual, dentro de los cuales se puede diseñar un sistema. Las compensaciones mutuas entre atenuación, dispersión, codificación, etc., pueden modificar estos parámetros.

El cálculo de la atenuación entre los puntos S y R debe tener en cuenta la variación de la pérdida de la fibra óptica en la gama de longitud de onda real de la fuente óptica.

4.8 Margen del equipo (M_e)

El margen del equipo, tal como se define en 3.2, depende de las características del sistema, de las condiciones ambientales y de la estrategia de mantenimiento. Las Administraciones deberán elegir, de concierto con el proveedor del sistema, un valor adecuado para sus aplicaciones.

Se considera que un margen mínimo de 3 dB es adecuado para los sistemas con láser de temperatura estabilizada y detectores PIN, que funcionan en un entorno de estación típico.

En los sistemas que utilizan diodos electroluminiscentes o láseres no estabilizados o en los que funcionan al aire libre, pueden ser necesarios márgenes más grandes.

4.9 Multiplexación por división de longitud de onda

Están en estudio los requisitos de los sistemas de línea digital que emplean técnicas de multiplexación por división de longitud de onda y que funcionan en la misma región de longitudes de onda o en regiones de longitud de onda diferentes.

Obsérvese que un intervalo de longitud de onda óptica de 1 nm corresponde a una frecuencia óptica de aproximadamente 175 GHz y 125 GHz en 1310 nm y 1550 nm, respectivamente.

5 Alimentación de energía

Generalmente, los sistemas de fibras ópticas no necesitan repetidores regenerativos dependientes. Por tanto, no es necesario recomendar un sistema específico de alimentación a distancia.

Cuando se requiera alimentación a distancia para aplicaciones específicas, sólo deberá utilizarse la alimentación en corriente continua.

Cuando se requiera alimentación local, basta con una tensión continua.

Deben tomarse precauciones para proteger al personal contra todo posible riesgo debido a las tensiones de trabajo normales y a las corrientes de la alimentación a distancia, así como contra las tensiones y corrientes inducidas. Deberán tomarse medidas de seguridad adecuadas para garantizar que en condiciones anormales se cumplan las exigencias de la Recomendación 479 de la CEI.

También es necesario tomar precauciones para la protección del equipo contra las tensiones y corrientes inducidas.

NOTA – Las precauciones contra las tensiones y corrientes inducidas requieren un estudio más detenido, para el cual pueden ser de interés las Recomendaciones de la serie K.

6 Sistemas para aplicaciones de corta distancia

Los márgenes de los sistemas de línea digital indicados en los Cuadros 1 y 2 tienen por objeto la especificación de los requisitos mínimos de los sistemas de transmisión con longitudes de sección de valor máximo. Sin embargo, en las aplicaciones que no requieran longitudes de sección máximas pueden utilizarse equipos más económicos. Es posible que los parámetros de dichos equipos difieran de los de los Cuadros 1 y 2, lo que permitiría efectuar compensaciones.

Además, quizá no sean necesarias la alimentación de energía y la supervisión a distancia de los regeneradores intermedios.

7 Condiciones de trabajo

Véase la Recomendación G.950.

8 Características de diseño globales

El diseño de la sección de cable elemental puede hacerse según tres posibles métodos: diseño para el caso más desfavorable, diseño estadístico y diseño semiestadístico.

El método del caso más desfavorable da la seguridad absoluta de que se satisfarán las prestaciones requeridas entre los puntos S y R, a costa de una longitud de sección de regeneración más conservadora.

El método estadístico se basa en el diseño de una sección de regeneración mejorada, pero admite una posibilidad predeterminada de márgenes de trayecto óptico insuficientes entre los puntos S y R. De esta manera, puede conseguirse una reducción de los costes en los sistemas ópticos de larga distancia y alta velocidad binaria, disminuyendo el número de repetidores.

Cuando se sigue el método estadístico, los parámetros del subsistema pueden expresarse en términos de sus distribuciones estadísticas, que han de ser facilitadas por los fabricantes. Esas distribuciones pueden tratarse numéricamente (por ejemplo, por los métodos de Montecarlo o de establecimiento de correspondencias) o analíticamente (por ejemplo, medias gaussianas y desviaciones típicas).

Ejemplos de parámetros que pueden considerarse de naturaleza estadística son los siguientes:

- atenuación del cable;
- dispersión cromática del cable (longitud de onda de dispersión nula y pendiente de dispersión nula);
- pérdidas en los empalmes y en los conectores;
- características espectrales del transmisor (longitud de onda central, anchura espectral, etc.);
- ganancia disponible del sistema entre los puntos S y R (por ejemplo, la potencia óptica disponible en el punto S y la sensibilidad del receptor en el punto R. Es posible que estos parámetros tengan que tratarse separadamente por consideraciones de compatibilidad transversal).

Según las prácticas de diseño, cada uno de los parámetros citados puede considerarse estadístico o del caso más desfavorable.

En un método semiestadístico, a los parámetros supuestos como determinísticos puede dárseles una distribución de anchura nula en torno al valor del caso más desfavorable (véase el Apéndice I).

Por lo general, la consideración estadística del coeficiente de atenuación del cable, del coeficiente de dispersión y de la pérdida de los empalmes tiene una significación particular para las ventajas derivadas del método de diseño estadístico y semiestadístico. La elección de parámetros determinísticos o estadísticos se basa en la experiencia de la Administración o del operador de que se trate.

9 Estrategia de mantenimiento

9.1 Tipo de supervisión y localización de averías

Puede utilizarse la supervisión en servicio y la localización de averías fuera de servicio. Para velocidades binarias iguales o superiores a 139 264 kbit/s, se recomienda la supervisión en servicio. En ausencia de conductores metálicos adecuados en el cable de fibra óptica, la supervisión del regenerador intermedio, cuando proceda, debe proporcionarse mediante las mismas dos fibras ópticas utilizadas para los sistemas de línea.

9.2 Condiciones de avería y acciones consiguientes

Deberán detectarse las siguientes condiciones de avería, además de las especificadas en la Recomendación G.821 para las secciones digitales pertinentes, y realizarse las acciones consiguientes asociadas:

- a) *fallo de la alimentación de energía distante* (si procede)
 - debe generarse una alarma de mantenimiento inmediato, de ser posible;
- b) *umbral bajo de tasa de errores excedido*
 - este umbral es 1×10^{-5} para los sistemas de hasta 8448 kbit/s;
y 1×10^{-6} para los sistemas de velocidades binarias más altas.

Debe generarse una alarma de mantenimiento diferido para indicar que se está degradando la calidad de funcionamiento.

Además, en el caso de los sistemas con láser se considera conveniente disponer de medios para detectar la deterioración del láser. Para esta condición de avería se considera adecuada una indicación de alarma de mantenimiento diferido.

10 Consideraciones de seguridad

Las Recomendaciones de orientación en cuanto a la seguridad de uso, mantenimiento y explotación de sistemas de línea por cables de fibra óptica con longitudes de onda de trabajo comprendidas entre 400 nm y 10 000 nm se encuentran actualmente en estudio en la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI). Incluyen las gamas de longitudes de onda de trabajo definidas en 4.5 y se tendrán en cuenta en la presente Recomendación cuando estén terminadas.

En materia de seguridad puede utilizarse, a título orientativo, la norma 825 de la CEI o las normas nacionales apropiadas sobre seguridad del láser.

También puede emplearse la parada automática del láser para cumplir las normas necesarias de seguridad.

Apéndice I

Cálculo de la longitud de la sección de regeneración (Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación)

I.1 Métodos

De forma general pueden definirse tres métodos posibles para el diseño de sistemas de fibra óptica multimodo y monomodo:

- método del caso más desfavorable (puramente determinístico);
- método estadístico (todos los parámetros se definen de forma estadística);
- método semiestadístico (sólo algunos parámetros se definen de forma estadística).

I.1.1 Método del caso más desfavorable

Este método consiste en considerar los valores más desfavorables posibles para todos los parámetros de diseño de la distancia entre repetidores. Con este método se obtienen longitudes entre repetidores inferiores a las obtenidas mediante una combinación estadística o semiestadística de los parámetros de diseño, pero se garantiza en el 100% de los casos, a lo largo de toda la vida útil del sistema, unos valores de atenuación y dispersión entre los puntos S y R inferiores a los especificados para el sistema.

En este método, la longitud de la sección de regeneración puede calcularse considerando que, para una aplicación específica en el extremo del trayecto óptico entre los puntos S y R (véase la Figura 2), la atenuación global no debe exceder del valor especificado.

La atenuación del trayecto óptico entre los puntos S y R se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_T - A_{tot} - P_D - M_e - P_R \geq 0$$

La atenuación del trayecto óptico satisface también la relación:

$$A_{tot} = (\alpha_c + \alpha_m) \cdot L + (N-1) \cdot l_s + N_c \cdot l_c$$

donde

- P_T es la potencia transmitida en el punto S (dBm);
- A_{tot} es la atenuación total admisible entre los puntos S y R (dB);
- P_D es la penalización por dispersión de potencia (dB);
- M_e es el margen del equipo (dB);
- P_R es la potencia recibida en el punto R (dBm);
- α_c es el coeficiente de atenuación del cable (dB/km);
- α_m es el coeficiente de margen del cable (dB/km);
- L es la longitud total del cable de fibra (km);
- N es el número de largos de fabricación del cable en la sección de repetición;
- l_s es la pérdida en el empalme (dB);
- N_c es el número de conectores entre los puntos S y R;
- l_c es la pérdida en el conector (dB).

La longitud óptica total del cable satisface la siguiente relación:

$$L \leq \frac{P_T - P_R - P_D - M_e - (N-1) \cdot l_s - N_c \cdot l_c}{\alpha_c + \alpha_m}$$

En relación con la dispersión cromática de la fibra monomodo, con el fin de obtener la longitud de la sección de regeneración definida por el balance de potencia y respetar el límite global definido en los Cuadros 1 y 2, se define el factor de penalización por dispersión de potencia.

Este factor (P_D) comprende los efectos de la interferencia entre símbolos (ISI *intersymbol interference*) el ruido de partición de modo (para láseres MLM) y de la fluctuación de la longitud de ondas (para láseres SLM).

Para más información sobre el cálculo de longitudes de secciones elementales de cable, véase la Recomendación G.651.

En relación con la anchura de banda en la fibra multimodo, con objeto de obtener la longitud de la sección de regeneración definida por el balance de potencia y respetar el límite global definido en los Cuadros 1 y 2 ha de satisfacerse la siguiente condición (véase 3/G.651).

$$B_T = \left[B_{\text{MODAL}}^{-2} + B_{\text{CHROMATIC}}^{-2} \right]^{-1/2}$$

Para más información sobre el cálculo de la anchura de banda en secciones elementales de cable, véase la Recomendación G.651.

I.1.2 Método estadístico

En este método se consideran las distribuciones estadísticas de cada uno de los parámetros de diseño que afectan a la atenuación y dispersión de la longitud de la sección de regeneración.

De manera general, los parámetros que pueden considerarse de naturaleza estadística son los siguientes:

- atenuación del cable;
- pérdida en los empalmes;
- pérdida en los conectores;
- longitud de onda de dispersión nula;
- pendiente de dispersión nula;
- longitud de onda de funcionamiento;
- potencia óptica disponible en el transmisor;
- sensibilidad del receptor;
- mejoras en los equipos.

Con este método de diseño, partiendo de las características de la distribución estadística, se define un nivel de confianza estadístico (por ejemplo, el 99%) con el que es posible satisfacer los límites de atenuación y dispersión impuestos por la longitud de la sección de regeneración.

Cuando se sigue el método estadístico, los parámetros del subsistema se expresan en términos de distribuciones estadísticas, cuyos datos se suponen disponibles por parte de los fabricantes o a partir de los datos obtenidos de los dispositivos de fabricación de los equipos. Estas distribuciones pueden tratarse de forma analítica (por ejemplo, funciones de convolución o medias gaussianas y desviaciones típicas) o de forma numérica (por ejemplo, siguiendo el método de Montecarlo o los métodos de establecimiento de correspondencias). Aplicando funciones de convolución pueden determinarse las funciones de distribución de probabilidad (PDF, *probability distribution functions*) de todos los parámetros de diseño existentes entre el transmisor óptico y el receptor óptico.

Para diseñar el trayecto de transmisión óptico debe realizarse la convolución de las PDF de todos los parámetros pertinentes. Este método exige un esfuerzo de cálculo mayor que el método analítico, pero proporciona una estimación más exacta del comportamiento de los sistemas reales.

Si todos los parámetros presentan distribuciones estadísticas de tipo gaussiano, puede aplicarse un proceso de diseño sencillo considerando para cada uno de ellos un valor medio (μ) y una desviación típica (σ).

Las fórmulas que han de utilizarse en este método requieren un estudio ulterior.

Puede suponerse que algunos parámetros de diseño no tienen distribuciones de tipo gaussiano (por ejemplo, la atenuación en los empalmes). Sin embargo, en estos casos pueden considerarse las siguientes hipótesis:

- 1) los valores medios y las desviaciones típicas son representativos de los parámetros en el tiempo y los tamaños de las muestras son suficientes para garantizar la utilización de la teoría estadística gaussiana;
- 2) las distribuciones de los parámetros presentan unas formas razonablemente gaussianas;
- 3) las pérdidas en los conectores y en los empalmes no presentan correlación con las pérdidas en la fibra;
- 4) el margen de pérdidas asociado a la deriva de la longitud de onda del transmisor está correlacionado en las distintas bobinas;
- 5) las pérdidas en el cable, excepto las asociadas a la variación de la longitud de onda del transmisor, están correlacionadas con la longitud media de la bobina, pero no están correlacionadas de una bobina a otra;
- 6) todos los cables están representados por los mismos valores estadísticos.

Y si se supone que los valores medios incrementados en dos veces sigma (la desviación típica) son inferiores a los valores de los casos más desfavorables, es posible recurrir a un método estadístico válido, con un método analítico sencillo, en el 97,7% de los casos.

Sin embargo, en un porcentaje muy reducido de casos, es posible que la atenuación o la dispersión entre los puntos S y R sea superior a la de los valores del sistema especificado. En estos casos será necesario sacrificar parte del margen del sistema o seleccionar fuente y receptor para superar los problemas impuestos por el balance de potencia y/o el límite de dispersión. Estas soluciones, no obstante, plantean algunas dificultades de naturaleza logística y operativa.

I.1.3 Método semiestadístico

Teniendo en cuenta el método estadístico anterior, los parámetros relativos a las fibras ópticas y a los dispositivos pasivos pueden considerarse con cierto grado de seguridad de naturaleza estadística. Por otro lado, parámetros tales como la potencia del transmisor óptico y la sensibilidad del receptor no deben considerarse desde el punto de vista

estadístico porque los valores determinísticos de estos parámetros se fijan en la fábrica y porque las especificaciones de la presente Recomendación han sido establecidas en términos de atenuación y dispersión admisibles entre los puntos S y R. No obstante, pueden obtenerse datos estadísticos a partir de mediciones realizadas en la fabricación.

En esta situación, el método semiestadístico considera algunos parámetros de forma determinística (caso más desfavorable), como por ejemplo la longitud de onda de funcionamiento, la potencia óptica disponible en el transmisor y la sensibilidad del receptor. Para otros parámetros, (tales como el coeficiente de atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, etc.), se consideran distribuciones estadísticas con los parámetros estadísticos adecuados (por ejemplo, el valor medio, la desviación típica, la asimetría).

Un método semiestadístico puede utilizar, por ejemplo, un conjunto de valores que presenten una distribución de tipo gaussiano generada mediante un algoritmo de Montecarlo a partir de los valores estadísticos proporcionados por el fabricante (por ejemplo, el valor medio, la desviación típica, la asimetría). Este conjunto de valores se utiliza para evaluar la dispersión total y la atenuación total en toda la sección de repetición. El cálculo se repite N veces. Un número de repeticiones igual a 100 da un nivel de confianza estadística superior al 99% con respecto a la mayor longitud de sección de regeneración en la que no se exceden los límites admisibles de atenuación y dispersión entre los puntos S y R. Para calcular la dispersión total se emplea una ecuación de Sellmeier de tres términos, en la longitud de onda que interesa y en toda la sección de regeneración.

Por lo que se refiere a la atenuación total, el balance de potencia se calcula teniendo en cuenta la relación indicada en el método del caso más desfavorable (véase I.1.1).

I.2 Formulario de datos estadísticos

En el Cuadro I.1 se muestra un formulario que puede utilizarse para registrar datos estadísticos. En dicho formulario se recaba, además del valor medio y la desviación típica de los parámetros, el tipo de distribución, cuando sea posible, para una mayor información.

CUADRO I.1/G.955

Formulario de datos estadísticos

Parámetro	Unidad	Método del caso más desfavorable	Método estadístico		
			μ	σ	Tipo de distribución
P_T	dBm				
P_R	dBm				
P_D	dBm				
λ	nm				
$\Delta\lambda$	nm				
l_c	dB				
α_c	dB				
l_s	dB				
λ_0	nm				
s_0	ps/(nm ² · km)				
P_T	Potencia transmitida en el punto S: la potencia transmitida puede controlarse para que esté dentro de los límites especificados a lo largo de su vida útil. En la desviación típica se tiene en cuenta un margen.				
P_R	Potencia óptica de entrada en el punto R necesaria para alcanzar una tasa de errores en los bits especificada.				
λ	Longitud de onda de la central fuente en funcionamiento.				
P_D	Penalización en potencia de dispersión (dB) debida a la interferencia entre símbolos, ruido de partición de modo y fluctuación de onda.				
$\Delta\lambda$	Anchura espectral de la fuente.				
l_c	Pérdida de los conectores.				
α_c	Pérdida del cable (a temperatura ambiente) al final de la vida útil del cable y con longitud de onda central nominal del transmisor.				
l_s	Pérdida de los empalmes a temperatura ambiente.				
λ_0	Longitud de onda de dispersión nula de la fibra.				
s_0	Pendiente de dispersión nula de la fibra.				

I.3 Ejemplos

En estudio.

I.4 Ejemplo de balance de potencia óptica estadística

En esta cláusula se da un ejemplo de balance de potencia óptica para un sistema hipotético, más bien que para un sistema en particular. Se aplica la convolución estadística a los componentes del equipo únicamente, no incluyéndose en el análisis la planta externa entre los puntos S y R. En vez de manejar valores de medias y desviaciones típicas de los componentes individuales del balance, se representan todos los parámetros como histogramas de frecuencias basados en un incremento de magnitud de 0,1 dB común. A continuación se obtiene el resultado global por convolución directa de estos componentes.

La Figura I.1 muestra dos distribuciones típicas.

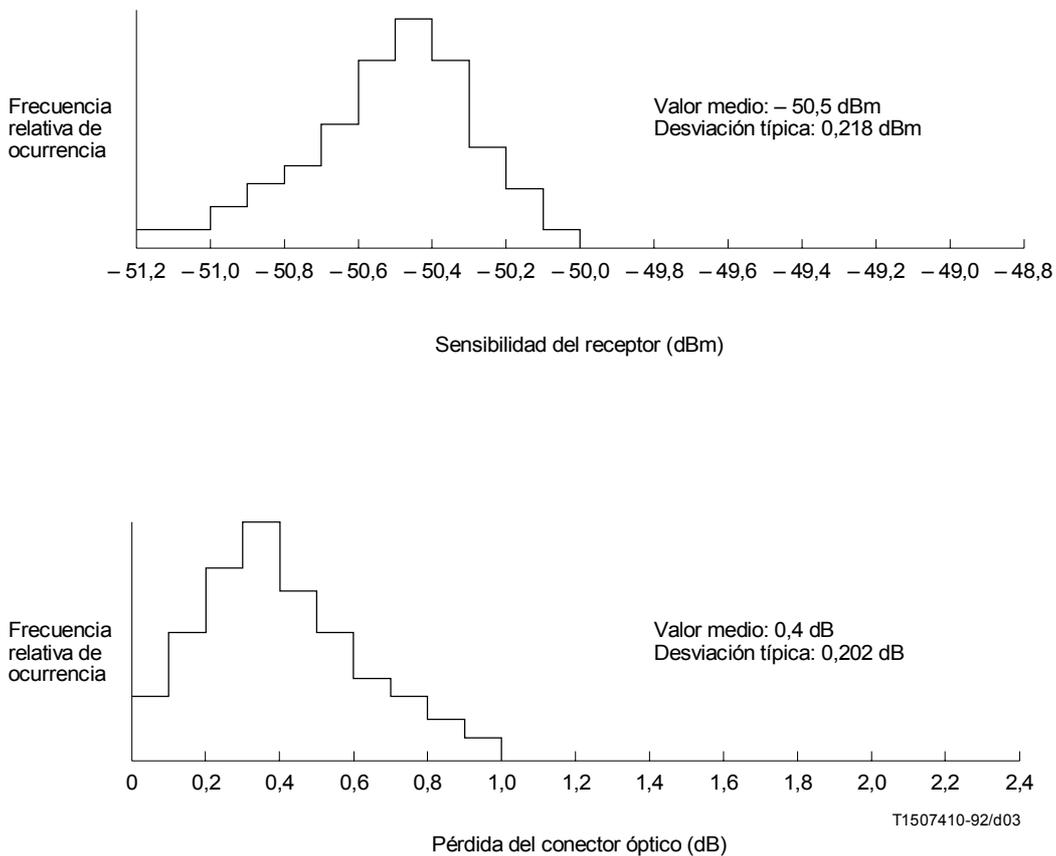


FIGURA I.1/G.955
Histogramas de distribución de parámetros típicos

El Cuadro I.2 muestra el balance del sistema hipotético con los valores del caso más desfavorable (extremos) y del caso típico (medios) obtenidos de las once distribuciones de parámetros del sistema. La suma aritmética directa de estos valores da los márgenes del caso más desfavorable y del sistema típico de 39,05 y 41,80 dB, respectivamente.

CUADRO I.2/G.955

Balances de potencia de sistema hipotético

		Caso más desfavorable	Caso típico
1	Potencia transmitida media	-2,95 dBm	-2,65 dBm
2	Sensibilidad del receptor	-50,05 dBm	-50,50 dBm
Relación de potencia disponible		47,10 dB	47,85 dB
Degradaciones del sistema			
3	Variaciones de la fuente con la temperatura y el tiempo	0,95 dB	0,74 dB
4	Variaciones del receptor con la temperatura y el tiempo	2,45 dB	2,04 dB
5	Efectos de la reflexión	0,05 dB	0,05 dB
6	Degradaciones dependientes del esquema y degradaciones de la ecualización	0,95 dB	0,85 dB
7	Imperfecciones de los impulsos del transmisor	0,45 dB	0,39 dB
8	Relación de extinción y efectos de la dispersión	0,65 dB	0,54 dB
9	Corrección de la tasa de errores	0,65 dB	0,65 dB
10	Pérdida del conector del transmisor	0,95 dB	0,40 dB
11	Pérdida del conector del receptor	0,95 dB	0,40 dB
Degradaciones totales		8,05 dB	6,05 dB
Margen del sistema		39,05 dB	41,80 dB

La Figura I.2 muestra el resultado del análisis estadístico. En particular, da el margen del sistema como una función de la probabilidad de ocurrencia.

Por ejemplo, el punto «A» de la Figura I.2 muestra que un margen de sistema de 40,4 dB se alcanzará con una probabilidad de 999 casos en 1000.

Obsérvese que la forma de la distribución global de la probabilidad de margen del sistema es casi gaussiana, a pesar de la forma no gaussiana de las distribuciones de los parámetros individuales, como se muestra en la Figura I.2.

Cualquier parámetro determinístico, tal como el N.º 9, de «ajuste de tasa de errores», se representa en el cuadro de distribuciones como un histograma de una sola columna de 0,1 dB de ancho.

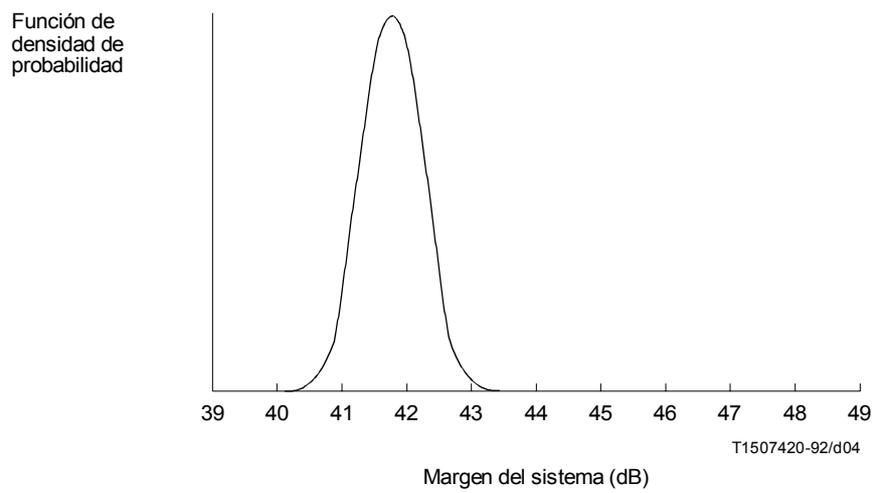
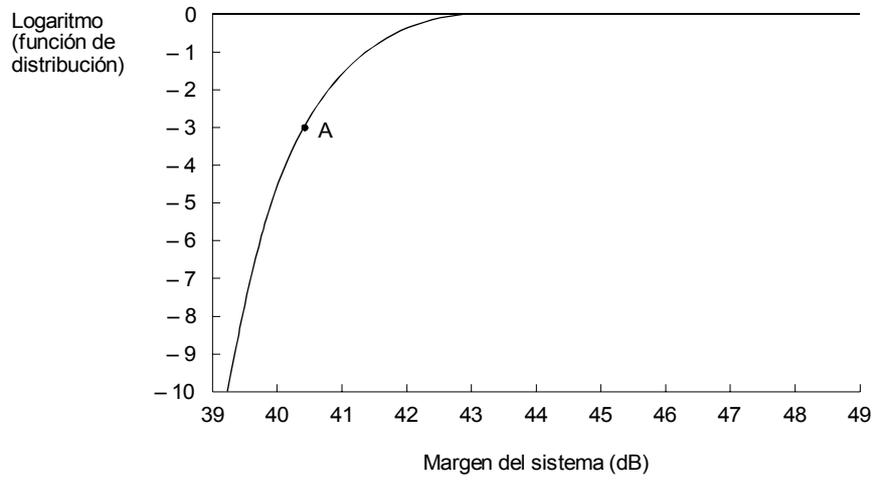


FIGURA I.2/G.955
Distribución de la probabilidad del margen del sistema

