



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**O.201**

(07/2003)

SERIE O: ESPECIFICACIONES DE LOS APARATOS DE  
MEDIDA

Aparatos de medida para parámetros de canales ópticos

---

**Equipo de prueba del factor Q para evaluar la  
calidad de transmisión de los canales ópticos**

Recomendación UIT-T O.201

---

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE O  
**ESPECIFICACIONES DE LOS APARATOS DE MEDIDA**

Generalidades	O.1–O.9
Acceso para el mantenimiento	O.10–O.19
Sistemas de medida automáticos y semiautomáticos	O.20–O.39
Aparatos de medida para parámetros analógicos	O.40–O.129
Aparatos de medida para parámetros digitales y analógicos/digitales	O.130–O.199
<b>Aparatos de medida para parámetros de canales ópticos</b>	<b>O.200–O.209</b>

*Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.*

## **Recomendación UIT-T O.201**

### **Equipo de prueba del factor Q para evaluar la calidad de transmisión de los canales ópticos**

#### **Resumen**

La presente Recomendación describe las condiciones que deben cumplir los equipos de medición del factor Q (QFME), que suelen basarse en el método de variación de nivel, para evaluar la calidad de transmisión digital de los canales ópticos.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T O.201 fue aprobada por la Comisión de Estudio 4 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación A.8 el 22 de julio de 2003.

#### **Palabras clave**

Equipo de medición del factor Q, factor Q, red óptica de transporte, relación señal/ruido, tasa de errores en los bits (BER), umbral de decisión.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2004

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

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
3 Definiciones.....	2
4 Abreviaturas y siglas.....	2
5 Presentación del factor Q.....	3
6 Condiciones que debe cumplir el equipo de medición del factor Q.....	4
6.1 Interfaces físicas y velocidades binarias.....	4
6.2 Requisitos de precisión y pruebas de aceptación .....	8
6.3 Presentación de los resultados .....	9
7 Funciones varias .....	10
7.1 Puerto de control remoto .....	10
7.2 Interfaz RGT.....	10
8 Condiciones de funcionamiento .....	10
8.1 Condiciones ambientales.....	10
8.2 Comportamiento en caso de interrupción del suministro de energía .....	10
9 Bibliografía.....	10
10 Lecturas de carácter general .....	10
Anexo A Procedimiento matemático para la determinación del factor Q mediante el método de variación del nivel de decisión.....	11
A.1 Condiciones previas.....	11
A.2 Dependencia teórica de la tasa de errores en los bits (BER) con respecto al umbral.....	11
A.3 Separación de la BER(0) y la BER(1).....	11
A.4 Cálculo de los resultados .....	12
Apéndice I – Teoría del factor Q .....	12
I.1 Teoría del factor Q.....	12
I.2 Aproximación de la función erfc .....	13
I.3 Funciones inversas erfc(x), erfc <sup>-1</sup> (x).....	14
Apéndice II – Características y calidad de funcionamiento de un canal óptico .....	14
II.1 Calidad de funcionamiento de un canal óptico.....	14
II.2 Características de los canales ópticos.....	15
Apéndice III – Imperfecciones que se han de tener en cuenta en la práctica .....	16
III.1 Deterioros analógicos .....	16
III.2 Dependencia de las secuencias.....	17
III.3 Características del receptor.....	17
III.4 Posición de fase de muestreo.....	17
III.5 Efectos en el factor Q .....	17

	<b>Página</b>
Apéndice IV – Propuestas de aplicación para los equipos QFME .....	18
IV.1    Diagramas.....	18
IV.2    Descripción funcional.....	18
IV.3    Modos de medición .....	21
Apéndice V – Pruebas de verificación adicionales.....	22
V.1    Respuesta en régimen de impulsos del receptor.....	22

## Recomendación UIT-T O.201

### Equipo de prueba del factor Q para evaluar la calidad de transmisión de los canales ópticos

#### 1 Alcance

El factor Q se mide mediante un método establecido para caracterizar los canales ópticos (véanse por ejemplo, las Recomendaciones UIT-T G.972 [7] y G.976 [8]). Cuando la tasa de errores en los bits es pequeña el método tiene la ventaja de que toma menos tiempo que una medida tradicional de ese valor (BER), en la que los errores en los bits se deben contar durante un periodo de tiempo estadísticamente significativo.

El factor Q se define como la relación señal/ruido (eléctrica) en el circuito de decisión de un receptor de señal digital (véase el anexo A, apéndice I y [B1]).

Existen varios métodos para medir el factor Q, los cuales se basan en una relación matemática con la tasa de errores en los bits (véanse también los métodos que figuran en las Recomendaciones UIT-T G.972 [7] y G.976 [8] para sistemas submarinos). La presente Recomendación trata el método de variación de nivel, y se aplica al equipo de medición del factor Q que lo utiliza.

Los objetivos de esta Recomendación con respecto a los equipos de medición del factor Q (QFME, *Q-factor measurement equipment*) son los siguientes:

- **Compatibilidad entre equipos de medición de diferentes fabricantes**

Los resultados de las mediciones de la calidad de transmisión de un canal óptico realizadas con un equipo QFME que es conforme con esta Recomendación, estarán dentro de los límites de precisión definidos en la presente Recomendación.

- **Evaluación de la calidad de funcionamiento real del sistema**

El objeto de evaluar con un equipo QFME la tasa de errores en los bit (BER, *bit error ratio*) que se puede lograr en un canal óptico dado es proporcionar el valor mínimo de esa tasa que se puede obtener con un equipo de red óptimamente diseñado.

El propósito de esta Recomendación no es definir ninguna aplicación concreta del método de medición del factor Q. En los apéndices a la presente Recomendación figuran algunos campos de aplicación posibles.

Si bien se indican ciertas características que deben tener esos equipos, no se aborda aquí cómo se debe realizar su configuración, que ha de ser objeto de un estudio cuidadoso por parte del diseñador y del usuario.

#### 2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T acualmente vigentes. En esta Recomendación la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [1] Recomendación UIT-T G.691 (2000), *Interfaces ópticas para los sistemas monocal STM-64, STM-256 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos*.

- [2] Recomendación UIT-T G.707/Y.1322 (2000), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona (SDH)*.
- [3] Recomendación UIT-T G.709/Y.1331 (2001), *Interfaces para la red de transporte óptica*.
- [4] Recomendación UIT-T G.825 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona*.
- [5] Recomendación UIT-T G.8251 (2001), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en la red óptica de transporte*.
- [6] Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona*.
- [7] Recomendación UIT-T G.972 (2000), *Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica*.
- [8] Recomendación UIT-T G.976 (2000), *Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica*.
- [9] Recomendación UIT-T O.3 (1992), *Condiciones climáticas y pruebas pertinentes para los aparatos de medida*.
- [10] Recomendación UIT-T O.181 (2002), *Equipo de medición para determinar la característica de error en las interfaces de módulo de transporte síncrono de nivel N*.
- [11] CEI 61300-3-29, *Measurement techniques for characterising the amplitude of the spectral transfer functions of DWDM components*.

### 3 Definiciones

En esta Recomendación se define el término siguiente.

**3.1 factor Q:** relación señal/ruido eléctrica (ESNR) en la entrada de un circuito de decisión del receptor (véanse el anexo A y el apéndice I).

### 4 Abreviaturas y siglas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas:

AGC	Control automático de ganancia ( <i>automatic gain control</i> )
APD	Fotodiodo de avalancha ( <i>avalanche photo diode</i> )
BER	Tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio</i> )
BERT	Conjunto de prueba de la tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio tester</i> )
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
DFB	Alimentación distribuida ( <i>distributed feed-back</i> )
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplex</i> )
EDFA	Amplificador de fibra dopada con erbio ( <i>erbium doped fibre amplifier</i> )
ER	Tasa de extinción ( <i>extinction ratio</i> )
ESNR	Relación señal/ruido eléctrica ( <i>electrical signal to noise ratio</i> )
FEC	Corrección de errores en recepción ( <i>forward error correction</i> )
ISI	Interferencia entre símbolos ( <i>inter-symbol interference</i> )

ISO	Organización Internacional de Normalización ( <i>International Organization for Standardization</i> )
OADM	Multiplexor óptico de incorporación/extracción ( <i>optical add drop multiplexer</i> )
OCh	Canal óptico ( <i>optical channel</i> )
OSA	Analizador de espectro óptico ( <i>optical spectrum analyzer</i> )
OSNR	Relación señal/ruido óptica ( <i>optical signal-to-noise ratio</i> )
OTM	Multiplexor de terminación óptica ( <i>optical termination multiplexer</i> )
OTN	Red óptica de transporte ( <i>optical transport network</i> )
OTUk	Unidad k de transporte óptica ( <i>optical transport unit-k</i> )
OXC	Transconexión óptica ( <i>optical cross connect</i> )
PRBS	Secuencia binaria pseudoaleatoria ( <i>pseudo random binary sequence</i> )
QFME	Equipo de medición del factor Q ( <i>Q-factor measurement equipment</i> )
RX	Receptor ( <i>receiver</i> )
SNR	Relación señal/ruido ( <i>signal-to-noise ratio</i> )
SPM	Automodulación de fase ( <i>self phase modulation</i> )
STM-N	Módulo de transporte síncrono N ( <i>synchronous transport module-N</i> )
TIA	Asociación de industrias de telecomunicaciones ( <i>telecommunications industry association</i> )
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda ( <i>wavelength division multiplex</i> )

## 5 Presentación del factor Q

En el anexo A y en el apéndice I, se describe la teoría de la evaluación del factor Q. Se supone que en condiciones ideales, el factor Q está dado por los niveles lógicos  $\mu_0$  y  $\mu_1$ , y por la distribución del ruido gaussiano en torno a los niveles lógicos, definidos por las desviaciones típicas  $\sigma_0$  y  $\sigma_1$ . La región en que se superponen las colas de la distribución representa la probabilidad de que se produzcan decisiones erróneas. En el apéndice IV, se describen algunos métodos para medir las distribuciones de ruido y determinar el factor Q.

En la práctica, hay una serie de factores que causan distorsiones cuyo efecto es que la forma de la distribución deja de ser gaussiana (véase la lista de esas influencias en el apéndice III). No obstante, puede observarse que esas distorsiones afectan principalmente a las regiones superiores de la distribución, mientras que con distribución de Gauss se puede efectuar una aproximación muy precisa de los extremos.

La aplicabilidad de una aproximación gaussiana a las colas se confirmará mediante el cálculo del coeficiente de correlación, de conformidad con el anexo A. Para cada medida del factor Q que requiere se satisfagan los límites de precisión de la cláusula 6, el coeficiente de correlación estará comprendido entre 0,95 y 1,0.

Si bien el ajuste gaussiano es el método básico más eficaz para la "extrapolación de cola", pueden existir otros modelos de distribución más complejos, que también satisfagan los requisitos de precisión definidos en la cláusula 6. Esos modelos quedan en estudio.

## 6 Condiciones que debe cumplir el equipo de medición del factor Q

### 6.1 Interfaces físicas y velocidades binarias

#### 6.1.1 Interfaces para los sistemas de transmisión

El equipo de medición del factor Q deberá poder funcionar en los puntos de verificación del amplificador óptico, en el caso de mediciones en servicio, y además en el lugar de los receptores de los sistemas, si se trata de mediciones fuera de servicio.

En el primer caso, se deberá procurar que la señal en el punto de verificación esté adecuadamente compensada con respecto a la dispersión.

Además, en el caso de sistemas DWDM, se necesita un filtro de canal óptico para seleccionar el canal deseado a fin de medir el factor Q; además, se puede utilizar una amplificación óptica situada antes del filtro.

Produce una cierta preocupación el hecho de que las mediciones en servicio en puntos de verificación óptica puedan no reflejar las características del canal óptico debido a la aplicación de diversos dispositivos de optimización (como la compensación de la dispersión cromática o la equalización de línea) utilizados para lograr una buena calidad de transmisión de extremo a extremo. La aplicabilidad de este tipo de mediciones en servicio y las disposiciones que se deben adoptar, requieren un estudio complementario.

#### 6.1.2 Velocidades binarias y tolerancia de fluctuación de fase

El equipo QFME funcionará a una o más de las velocidades binarias definidas en la Rec. UIT-T G.707/Y.1322 [2] para señales STM-N, o en la Rec. UIT-T G.709/Y.1331 (OTN) para señales OTUk.

La fluctuación de fase máxima admisible a las velocidades binarias especificadas que soporta el equipo QFME será conforme con las Recomendaciones UIT-T G.825 [4] o G.8251 [5].

#### 6.1.3 Respuesta del receptor del equipo QFME

La amplitud global en función de la respuesta de frecuencia del receptor (RX), incluido el convertidor O/E y, si procede, los circuitos de filtrado paso bajo, de control automático de ganancia (AGC *automatic gain control*) y de decisión o muestreo, deberá escogerse de manera que la respuesta en forma de impulsos de interferencia entre símbolos (ISI, *inter-symbol interference*) sea mínima y no tenga sobreoscilaciones.

Como objetivo general del diseño, se deberán adoptar las características de paso bajo de 4<sup>o</sup> orden de Bessel-Thompson (o equivalentes), de conformidad con las definiciones del receptor de referencia establecidas en las Recomendaciones UIT-T G.957 [6] y G.691 [1].

La anchura de banda de ruido eléctrico nominal ( $B_e$ ) del receptor será

$$0,75 \times f_{\text{clk}}$$

donde  $f_{\text{clk}}$  es la frecuencia de reloj expresada en hertzios (para mayor información sobre el procedimiento de corrección de la anchura de banda, véase 6.1.7).

En lugar de definir una plantilla de tolerancia para la respuesta de frecuencia, es preferible utilizar una máscara de impulsos para caracterizar de manera apropiada la respuesta en forma de impulsos del receptor. La definición y la verificación de la plantilla de impulsos requieren un estudio complementario.

En el apéndice V se describen otros métodos que permiten caracterizar la respuesta en forma de impulsos del receptor.

#### 6.1.4 Filtro de canal óptico

Si para medir el factor  $Q$  se necesita un filtro de canal óptico, éste deberá cumplir las siguientes condiciones. La anchura de banda  $B_{ch}$  óptica de 3 dB será superior a  $2 \times f_{clk}$ , con una parte superior horizontal de anchura  $-1$  dB, de por lo menos  $1 \times f_{clk}$  (siendo  $f_{clk}$  la frecuencia de reloj expresada en hertzios).

La atenuación diafónica entre canales medida de conformidad con IEC 61300-3-29 [11] será superior a 20 dB.

#### 6.1.5 Gama de niveles de entrada óptica

Para instrumentos de velocidades binarias múltiples de hasta 10,7 Gbit/s, la gama de niveles de entrada óptica será de por lo menos  $-6$  a  $-13$  dBm para receptores de diodo PIN, y de  $-9$  a un valor por determinar dBm para receptores APD.

Para instrumentos de velocidad binaria "única" comprendida entre 9,95 y 10,7 Gbit/s, la gama de niveles será de  $-6$  a  $-13$  dBm para receptores de diodo PIN, y de  $-9$  a un valor por determinar dBm para receptores APD, y de  $-18$  a  $-25$  dBm para receptores APD de 2,5 Gbit/s.

La gama de niveles de entrada óptica para velocidades de 40 Gbit/s queda en estudio.

Los efectos no lineales se deben reducir al mínimo, ya que el método del factor  $Q$  requiere un funcionamiento lineal.

#### 6.1.6 Consideración del ruido del receptor

De manera general, la sensibilidad y la anchura de banda del receptor (RX) del equipo QFME y del receptor del sistema son diferentes, por lo cual la calidad de funcionamiento prevista también será diferente. Es posible eliminar los efectos del receptor del QFME del resultado del factor  $Q$  mediante cálculo, y obtener el valor del factor  $Q$  de la señal óptica sola.

Además, se pueden evaluar las características del error de esta señal junto con las del receptor del sistema, si se conoce la dependencia con respecto a la potencia de entrada de la tasa de errores en los bits (BER) del receptor.

##### 6.1.6.1 Parámetros de ruido del receptor

Para facilitar la evaluación de la BER del sistema a partir de los resultados del factor  $Q$ , el equipo QFME debe mostrar la tensión de ruido intrínseca del receptor a la potencia de entrada óptica real y a la velocidad binaria de funcionamiento real. Esas tensiones de ruido se deben indicar de forma normalizada, representando los valores de  $Q$  intrínsecos:

$$Q_{i1} = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_{i1}}; Q_{i0} = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_{i0}}; Q_i = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_{i1} + \sigma_{i0}} \quad (6-1)$$

Los valores intrínsecos de  $Q$  se calibran mediante una medición de conexión directa, utilizando un transmisor de referencia como el descrito en la figura 1, pero con las siguientes modificaciones:

Se eliminan el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) y un atenuador variable del trayecto de la señal, así como la fuente de diafonía. Se utilizará como secuencia de modulación una señal STM-N o OTUk tramada o una secuencia PRBS-23 pura.

Se supone que la tasa de extinción de la señal es infinita para los valores intrínsecos de  $Q$  visualizados. Si la calibración del receptor del receptor del QFME se realiza con una tasa de extinción finita, los valores intrínsecos de  $Q$  se tienen que multiplicar por  $(ER + 1)/(ER - 1)$  antes de su visualización.

### 6.1.6.2 Cálculo de los valores $Q$ de la señal (optativo)

De conformidad con el anexo A, junto con la evaluación de la  $Q$  medida están disponibles los valores  $\mu_0$ ,  $\mu_1$ ,  $\sigma_0$  y  $\sigma_1$ , por lo que se pueden calcular las siguientes cantidades:

$$Q_0 = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_0}, \quad Q_1 = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1}$$

Conociendo los parámetros de ruido del receptor (ecuación 6-1), es posible compensar el ruido intrínseco del QFME, que está dado por  $\sigma_0$  y  $\sigma_1$  y obtener valores de  $Q$  de la señal sola.

$$\frac{1}{Q_{señal1}^2} = \frac{1}{Q_1^2} - \frac{k^2}{Q_{i1}^2}; \quad \frac{1}{Q_{señal0}^2} = \frac{1}{Q_0^2} - \frac{k_2}{Q_{i0}^2};$$

donde  $k = (ER + 1)/(ER - 1)$ ,  $ER$  = tasa de extinción de la señal

$$\frac{1}{Q_{señal}} = \frac{1}{Q_{señal0}} + \frac{1}{Q_{señal1}} \quad (6-2)$$

Como en muchas aplicaciones prácticas no se conoce la tasa de extinción de la señal, se podrá efectuar la compensación del ruido con  $k = 1$ , lo que corresponde a una tasa de extinción infinita (en ciertos casos, ello lleva a una cierta subcompensación del ruido).

Sea como fuere, debe quedar claramente indicado en la visualización de los resultados del factor  $Q$  si la compensación de ruido intrínseco es activa; además, si no es infinita, el valor de la tasa de extinción considerada también se visualizará.

### 6.1.6.3 Evaluación de los valores de $Q$ del sistema (optativo)

Conociendo el valor  $Q_{señal}$  de la señal en la entrada del receptor, es posible evaluar el factor  $Q$  global  $Q_{sis}$  incluidas las propiedades del receptor del sistema (por ejemplo, el caso más desfavorable). Esto se puede lograr utilizando una función optativa del equipo QFME, que emplea los procedimientos y las ecuaciones siguientes.

En primer lugar, el receptor (RX) del sistema se caracteriza por su propio factor  $Q$  intrínseco,  $Q_{RX}$ . Ese valor depende de la potencia óptica de entrada del receptor y se puede obtener a partir de la relación entre la tasa de errores en los bits conocida y la potencia de entrada del receptor. Si el receptor (RX) está caracterizado por una  $ER_{car}$  diferente del valor real, el  $Q_{RX}$  se debe modificar mediante la fórmula siguiente:

$$Q_{RXreal} = \frac{ER_{car} + 1}{ER_{car} - 1} \times \frac{ER_{real} - 1}{ER_{real} + 1} \times Q_{RX}$$

Si el valor  $B_{RX}$  de la anchura de banda eléctrica del receptor del sistema es diferente del valor nominal de  $B_e$ , los resultados de  $Q_{señal}$  se tienen que corregir por medio del factor:

$$\sqrt{\frac{B_e}{B_{RX}}}$$

Utilizando los valores  $Q_{señal0}$  y  $Q_{señal1}$  de la ecuación 6-2, el factor  $Q$  del sistema estará dado por:

$$\frac{1}{Q_{sist}} = \sqrt{\frac{B_{RX}/B_e}{Q_{señal0}^2} + \frac{1}{4Q_{RX}^2}} + \sqrt{\frac{B_{RX}/B_e}{Q_{señal1}^2} + \frac{1}{4Q_{RX}^2}} \quad (6-3)$$

La tasa de errores en los bits correspondientes se calcula con la ecuación A-5.

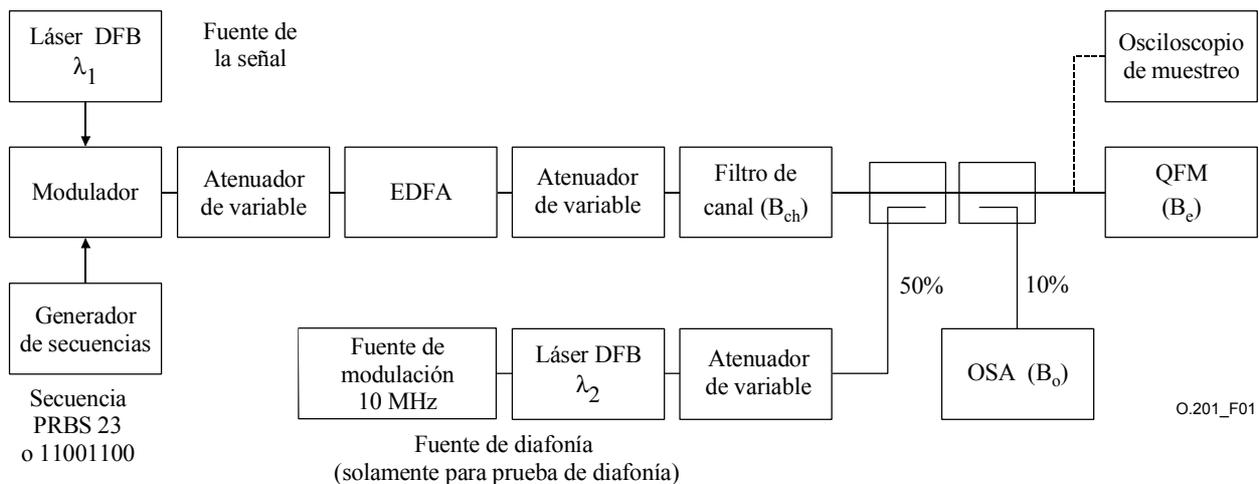
### 6.1.7 Calibración del receptor

El objeto de esta calibración es eliminar los efectos de las desviaciones de la anchura de banda eléctrica con respecto a los valores nominales definidos en 6.1.3. La calibración se realiza al nivel máximo de entrada óptica admisible para garantizar que el ruido intrínseco del receptor puede despreciarse.

La calibración se realiza con un factor  $Q$  igual a 7, que corresponde a una BER de  $\approx 10^{-12}$ , y se toma como señal de modulación una señal STM-N u OTUk tramada o una secuencia PRBS-23 pura.

Como  $B_e$  varía para las diferentes velocidades binarias, deberá aplicarse el procedimiento para cada una de las velocidades binarias soportadas por el equipo QFME.

En la figura 1 se indica la configuración de calibración empleada.



**Figura 1/O.201 – Configuración para calibración y prueba de diafonía**

La idea de base es generar una señal digital de transmisión óptica, que sólo sea degradada por un ruido de emisión espontánea amplificada (ASE). En este caso, se puede prever el valor  $Q$  de la señal a partir de la OSNR (medida con un OSA) y de la tasa de extinción ER (medida con un osciloscopio de muestreo).

Obsérvese que la señal de calibración debe estar visualmente libre de toda interferencia entre símbolos, sobreoscilación o cierre de diagrama en ojo debido a una anchura de banda de modulación insuficiente.

En el caso en el que el ruido intrínseco del receptor se pueda despreciar, la relación entre  $Q$ , OSNR y ER para señales sin retorno a cero, está dada por:

$$OSNR = \frac{(ER + 1)}{(ER - 1)^2} \times \left[ Q^2 \times \left( \frac{B_e}{B_o} \right) \times (ER + 1) + Q \times \sqrt{\frac{B_e \times (8ER \times Q^2 \times B_e + (ER - 1)^2 \times (2B_{ch} - B_e))}{2B_o^2}} \right] \quad (6-4)$$

Suponiendo que  $Q = 7$  y  $B_e = 0,75 f_{clk}$ , la relación OSNR se calcula con la ecuación 6-4.

La señal de calibración se ajusta a este valor de la OSNR, y se mide con el QFME (factor  $Q$  resultante =  $Q_{medido}$ ).

A continuación, se calcula el factor de corrección:

$$CF = \frac{7}{Q_{medido}}$$

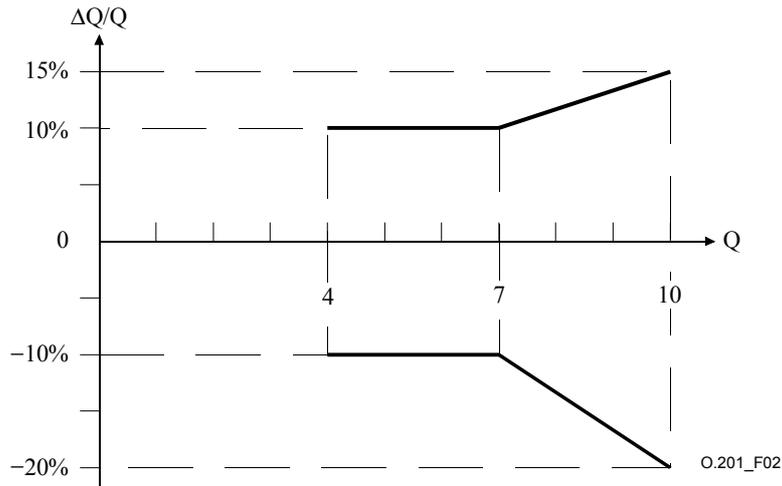
y todos los resultados futuros de  $Q$  dados por el equipo QFME se multiplican por ese factor.

Obsérvese que en el caso de señales con retorno a cero (RZ), es necesario modificar la ecuación 6-4.

## 6.2 Requisitos de precisión y pruebas de aceptación

### 6.2.1 Precisión

Conforme a la presente Recomendación, el resultado de las mediciones de todo equipo QFME, independientemente de la técnica que utilice, estará dentro de los límites establecidos por un factor  $Q$  equivalente, calculado matemáticamente a partir de una medición de la OSNR y de la ER (según la ecuación 6-4 de 6.1.7) realizada con una señal de prueba cuya ER es  $\geq 8$  dB.

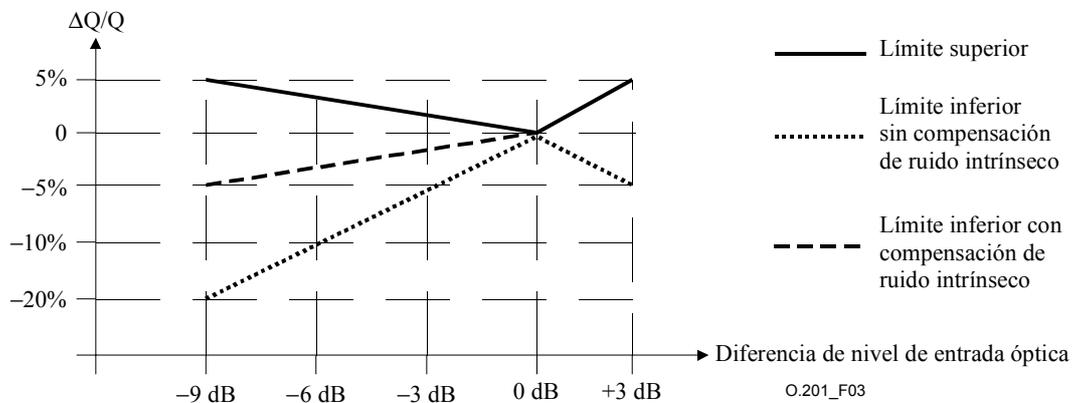


NOTA – El QFME funciona a la potencia óptima de entrada óptica.

**Figura 2/O.201 – Límites de precisión en función del factor  $Q$**

El fabricante del equipo debe especificar la potencia óptima de entrada óptica.

Si el equipo QFME no funciona a la potencia óptima de entrada óptica, el error adicional ha de mantenerse dentro de los siguientes límites:



**Figura 3/O.201 – Límites de tolerancia de la imprecisión en función del nivel adicional**

## 6.2.2 Pruebas de aceptación

### 6.2.2.1 Prueba de diafonía

Tal como se describe en el apéndice III, una serie de efectos (como por ejemplo la interferencia entre símbolos, la automodulación de fase y la diafonía) pueden distorsionar el diagrama en ojo y causar distribuciones no gaussianas debido a la división del nivel lógico. No obstante, incluso en esos casos es posible aplicar el ajuste gaussiano solamente en los puntos de medición próximos al centro del ojo, y utilizar las curvas de ajuste para obtener el valor de  $Q$  por extrapolación.

Los QFME que sean conformes con la presente Recomendación deberán poder evaluar correctamente los diagramas en ojos distorsionados en las condiciones de prueba de diafonía siguientes.

Según la figura 1, se añade a la configuración de calibración una fuente de diafonía, que proporciona una señal láser DFB con modulación todo o nada de aproximadamente 10 MHz/100%, con un ciclo de trabajo del  $50\% \pm 1\%$  y forma rectangular. La longitud de onda de la señal láser debe diferir en más de 1 nm de la señal de calibración, pero ambas deben de estar en la misma banda.

El objeto de esta prueba es reducir la abertura del ojo producida por una diafonía no síncrona mediante un factor de aproximadamente:

$$1 - \frac{1}{Q}$$

Para ello, la potencia de diafonía óptica  $P_{xt}$ , medida con un OSA en la entrada del equipo QFME, estará relacionada con la potencia de la señal de calibración  $P_{av}$  por la siguiente fórmula:

$$P_{xt} = \frac{1}{Q} \times P_{av} \times \frac{ER - 1}{ER + 1} \quad (6-5)$$

Con la fuente de diafonía desconectada, se ajusta la señal de calibración a fin de obtener un valor de  $Q_{no\ xt} \approx 7$  en el equipo QFME, con el mismo procedimiento que se indica en 6.1.7.

Posteriormente, se procede a ajustar la fuente de diafonía mediante la ecuación 6-5, utilizando el valor  $Q_{no\ xt}$  obtenido y se mide nuevamente el factor  $Q$ . Si se tiene en cuenta que la abertura del diagrama en ojo se reduce debido a la diafonía, pero sólo durante el 50% del tiempo debido al ciclo de trabajo del 50%, la variación del factor  $Q$  resultante será la siguiente:

$$\Delta Q_{xt} = Q_{no\ xt} \times \frac{P_{xt}}{P_{av}} \times \frac{ER + 1}{ER - 1} + 0,08 \pm 0,2 \quad (6-6)$$

## 6.3 Presentación de los resultados

Se visualizarán tanto el factor  $Q$  de la señal como la tasa óptima de errores en los bits calculada.

A fin de proporcionar al usuario una indicación de la validez de las mediciones efectuadas, se debe hacer una representación numérica o gráfica de la calidad del ajuste.

También se pueden indicar otros datos paramétricos relativos al factor  $Q$  y a su medición.

En caso de aplicaciones en las que se efectúa corrección de errores en recepción (FEC), la tasa de errores en los bits evaluada a partir de las mediciones del factor  $Q$  es la tasa bruta, que se observaría si no se procediese a la corrección de errores en recepción. La razón de ello es que la medición del factor  $Q$  se basa en una evaluación de la capa física (diagrama en ojo). El hecho de que la corrección de errores en recepción (FEC) mejore la tasa de errores en los bits (BER) en la red es una función conocida que el usuario puede tomar en consideración.

La teoría descrita en la presente Recomendación exige que no se aplique ninguna corrección de errores en recepción antes de la evaluación del factor Q. Si por razones que están fuera del alcance de la presente Recomendación se aplicase una corrección de errores en recepción (FEC), sería necesario indicarla junto con los resultados obtenidos.

## **7 Funciones varias**

Se trata de funciones que no influyen directamente en las definiciones de la medición del factor Q, por lo que han de considerarse optativas para el equipo de medición.

### **7.1 Puerto de control remoto**

El equipo de medición se puede controlar a distancia mediante una interfaz normalizada (por ejemplo, la IEEE 488/CEI 625).

### **7.2 Interfaz RGT**

El equipo de medición puede tener una interfaz Q apropiada que proporcione servicios de red de gestión de las telecomunicaciones (RGT).

## **8 Condiciones de funcionamiento**

### **8.1 Condiciones ambientales**

Las condiciones de calidad eléctrica y funcional que se deben cumplir cuando funciona un equipo QFME se especifican en la Rec. UIT-T O.3 [9].

### **8.2 Comportamiento en caso de interrupción del suministro de energía**

El equipo QFME debe reconocer cuando se produce una interrupción del suministro de energía eléctrica durante una medición.

## **9 Bibliografía**

[B1] HUMBLET (P.A.) y AZIZOGLU (M.): On the bit error rate of lightwave systems with optical amplifiers, *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, Vol. LT-9, 1991, páginas 1576-1582.

## **10 Lecturas de carácter general**

- BERGANO (N.S.), KERFOOT (F.W.) y DAVIDSON (C.R.): Margin Measurements in Optical Amplifier Systems, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 5, No. 3, marzo de 1993, páginas 304-306.
- OFSTP-4A, *Optical Eye Pattern Measurement Procedure*, TIA/EIA-526-4A, noviembre de 1997.
- OFSTP-8, *Accelerated measurements of low BERs in digital fiber optic systems*, TIA/EIA-526-8.
- HP E4543A, *Q factor and eye contour application software*.
- BEVINGTON (P.R.): *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, McGraw Hill, 1969, página 92.

## Anexo A

### Procedimiento matemático para la determinación del factor Q mediante el método de variación del nivel de decisión

#### A.1 Condiciones previas

El procedimiento matemático que se expone a continuación sólo es válido si la tasa de errores en los bits (BER) se determina sin utilizar la corrección de errores en recepción (FEC).

#### A.2 Dependencia teórica de la tasa de errores en los bits (BER) con respecto al umbral

La relación teórica es la siguiente:

$$BER = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{\mu - \mu_0}{\sqrt{2} \sigma_0} \right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{\mu_1 - \mu}{\sqrt{2} \sigma_1} \right) \quad (\text{A-1})$$

donde  $\mu_1$  y  $\mu_0$  son los niveles medios de tensión del nivel 1 y del nivel 0.  $\sigma_1$  y  $\sigma_0$  son las desviaciones típicas de la distribución de ruido en los niveles 1 y 0.  $\mu$  es la posición del umbral de decisión.

Se deben determinar  $\mu_1$ ,  $\mu_0$ ,  $\sigma_1$  y  $\sigma_0$  a partir de valores medidos de  $BER = f(\mu)$ , y calcular la BER óptima y el factor Q a partir de esos valores.

#### A.3 Separación de la BER(0) y la BER(1)

Como la probabilidad de error total es la suma de los dos términos correspondientes a la mitad de la probabilidad de error de bit condicional, se aplica el siguiente método de separación:

##### Primera etapa

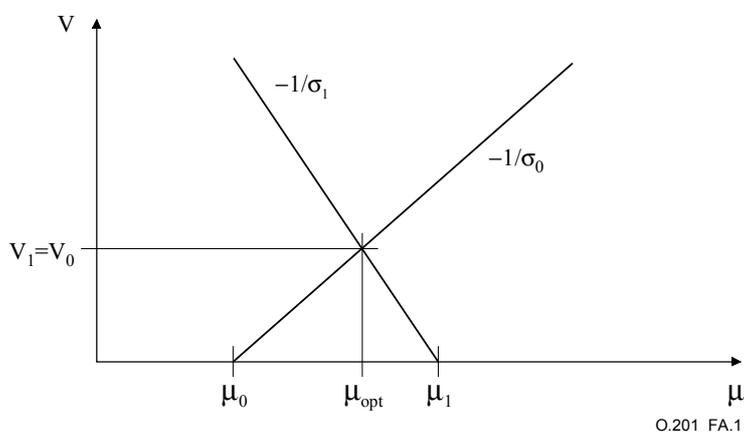
Las dos distribuciones se tratan separadamente:

$$BER1(\mu) = 1/4 \times \operatorname{erfc} (V_1/\sqrt{2}), \text{ para la mitad superior del diagrama en ojo} \quad (\text{A-2})$$

$$BER0(\mu) = 1/4 \times \operatorname{erfc} (V_0/\sqrt{2}), \text{ para la mitad inferior del diagrama en ojo} \quad (\text{A-3})$$

donde  $V_1(\mu) = (\mu_1 - \mu)/\sigma_1$  y  $V_0(\mu) = (\mu - \mu_0)/\sigma_0$

Resolviendo las ecuaciones A-2 y A-3 para  $V_0$  y  $V_1$ , y utilizando la función inversa de error, la dependencia de  $V_1$  y  $V_0$  con respecto a  $\mu$  se calcula a partir de los valores medidos de la BER por medio de las rectas de regresión. Esto permite obtener el primer conjunto de valores estimados para  $\mu_1$ ,  $\mu_0$ ,  $\sigma_1$  y  $\sigma_0$  (véase la figura A.1).



O.201\_FA.1

Figura A.1/O.201 – Extrapolación con rectas de regresión

$V_1(\mu)$  se calcula a partir de los puntos de medición del nivel "1";

$V_0(\mu)$  se calcula a partir de los puntos de medición del nivel "0".

### Segunda etapa

En esta etapa se utiliza la ecuación completa (ecuación A-1) para continuar el cálculo. A fin de mejorar  $\mu_1$  y  $\sigma_1$ , se introducen en la ecuación (ecuación A-1) los valores evaluados de  $\mu_0$  y  $\sigma_0$  y se determina nuevamente  $V_1$  en función de  $\mu$ , lo que proporciona un conjunto más preciso de valores de  $\mu_1$  y  $\sigma_1$ . Basándose en este nuevo conjunto de valores, se determina en forma análoga un conjunto mejorado de valores de  $\mu_0$  y  $\sigma_0$ .

La segunda etapa se repite de manera iterativa. Cuando la variación del valor  $V_{opt}$  de la figura A.1 es menor que  $10^{-3}$ , la iteración se detiene.

### A.4 Cálculo de los resultados

Para calcular los resultados de la tasa óptima de errores en los bits (BER) y el factor Q, se toma el conjunto final de valores de  $\mu_1$ ,  $\mu_0$ ,  $\sigma_1$  y  $\sigma_0$

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (\text{A-4})$$

El valor óptimo de la BER se determina mediante la ecuación A-1, tomando  $\mu = \mu_{opt}$ , de conformidad con la figura A.1. Ello conduce a la siguiente fórmula:

$$optBER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \quad (\text{A-5})$$

Una estimación de la validez de los resultados es la calidad del ajuste de las rectas de regresión, representado por los coeficientes de correlación de ambas rectas. A fin de cumplir con las exigencias de precisión de la presente Recomendación (cláusula 6), los coeficientes de correlación tendrán que estar comprendidos entre 0,95 y 1,0.

## Apéndice I

### Teoría del factor Q

#### I.1 Teoría del factor Q

##### I.1.1 Hipótesis

Los unos y los ceros no están correlacionados;  $P(0) = P(1) = 0,5$

El ruido aditivo es estadísticamente independiente de la señal.

##### I.1.2 Factor Q

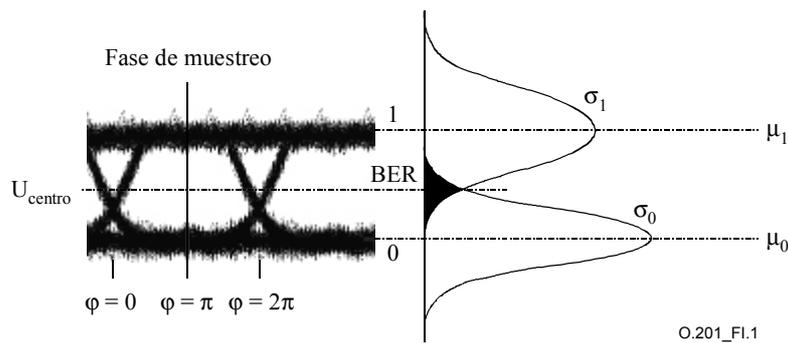
El factor  $Q$  se define, para una señal de transmisión digital, como la relación señal/ruido (SNR) en el circuito de decisión de los receptores, y se determina con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (\text{I-1})$$

El factor Q se puede expresar en decibelios más que en valores lineales:

$$Q \text{ (decibelios)} = 20 \times \log_{10} Q \text{ (lineal)} \quad (\text{I-2})$$

donde  $\mu_1$  y  $\mu_0$  son los niveles medios de tensión de los niveles 1 y 0.  $\sigma_1$  y  $\sigma_0$  son las desviaciones típicas de la distribución de ruido en los niveles 1 y 0.



**Figura I.1/O.201 – Relación entre la función de densidad de probabilidad y la tasa de errores en los bits**

La relación entre la tasa de errores en los bits (BER) y los valores  $\mu$  y  $\sigma$  se describe en la ecuación A-1.

## I.2 Aproximación de la función erfc

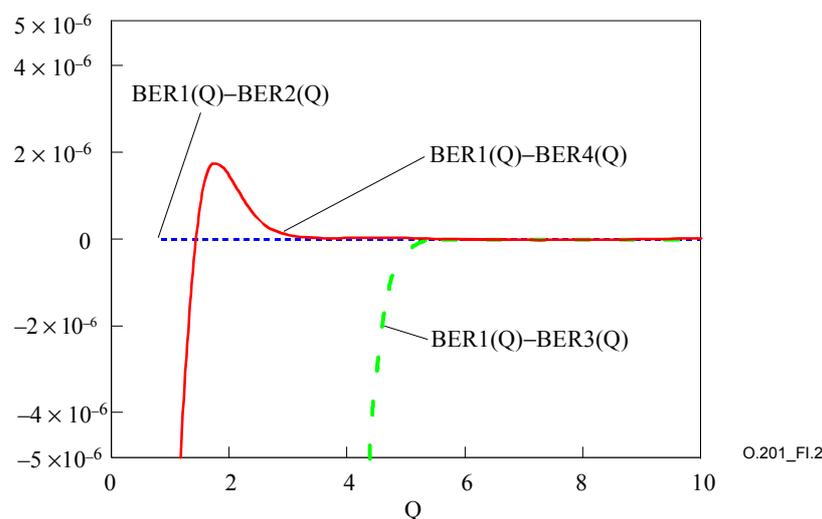
A fin de facilitar los cálculos, se propone llegar a la función erfc de manera aproximada por medio de la ecuación I-3.

$$BER(Q) = \frac{1}{2} \times \left[ 2 \times e^{-\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^2} \times \frac{a0 + a1 \times \frac{Q}{\sqrt{2}} + a2 \times \left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^2}{\left[ b0 + b1 \times \frac{Q}{\sqrt{2}} + b2 \times \left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^2 + b3 \times \left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^3 \right] \times \sqrt{\pi}} \right] \quad (I-3)$$

donde:

$a0 = 1,69071595$	$b0 = 1,90764542$
$a1 = 1,45117156$	$b1 = 3,79485940$
$a2 = 0,50003230$	$b2 = 2,90845448$
	$b3 = 1,00000000$

Tal como se ilustra en la figura I.2, la precisión de este cálculo aproximado es superior a  $2 \times 10^{-6}$  para  $Q > 1,5$ , lo que resulta ampliamente suficiente para la aplicación del factor Q. Con la aproximación BER3(Q) se obtienen errores más grandes por debajo de  $Q = 5$ , por lo que esta aproximación no deberían adoptarse.



**Figura I.2/O.201 – Precisión de diversas aproximaciones de erfc**

NOTA – La figura I.2 ilustra las desviaciones con respecto al valor teórico de  $BER1(Q)$

$BER2(Q)$ , línea de puntos: aproximación por medio del método de integración numérica

$BER3(Q)$ , línea discontinua: aproximación por medio de la ecuación  $\left( BER3(Q) = \frac{1}{Q \times \sqrt{2}} \times e^{-\frac{Q^2}{2}} \right)$

$BER4(Q)$ , línea continua: aproximación por medio de la ecuación I-3

### I.3 Funciones inversas $erfc(x)$ , $erfc^{-1}(x)$

Para calcular  $\mu_0$ ,  $\mu_1$ ,  $\sigma_0$ ,  $\sigma_1$  y  $Q$  también se necesita la función inversa  $erfc$ . Como la precisión de la ecuación I-3 es muy grande, la función  $erfc^{-1}(x)$  se determina por medio de iteraciones de  $erfc(x)$ , comenzando por un valor sacado de una tabla de consulta.

Si la correspondencia es mejor que  $10^{-6}$ , la iteración se interrumpe.

## Apéndice II

### Características y calidad de funcionamiento de un canal óptico

#### II.1 Calidad de funcionamiento de un canal óptico

##### II.1.1 Medición del factor Q

La figura II.1 describe un ejemplo de aplicación de una medición del factor Q. De esta manera, se puede efectuar una medición acelerada de la calidad de transmisión en un camino de canal óptico (OCh trail). Un camino de canal óptico semejante puede formar parte de una red óptica más compleja, incluidas las interconexiones ópticas (OXC) y los multiplexores ópticos de incorporación/extracción (OADM).

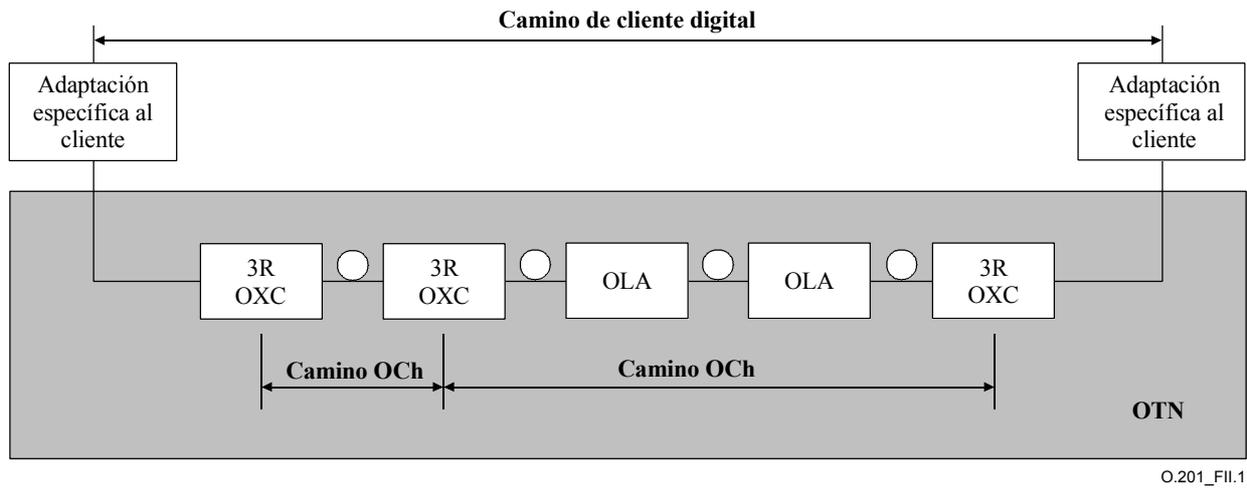


Figura II.1/O.201 – Red óptica de transporte (OTN)

## II.2 Características de los canales ópticos

### II.2.1 Características ópticas

Los canales ópticos se caracterizan por los siguientes atributos principales:

- longitud de onda;
- potencia;
- relación señal a ruido óptica (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*);
- anchura de banda soportada.

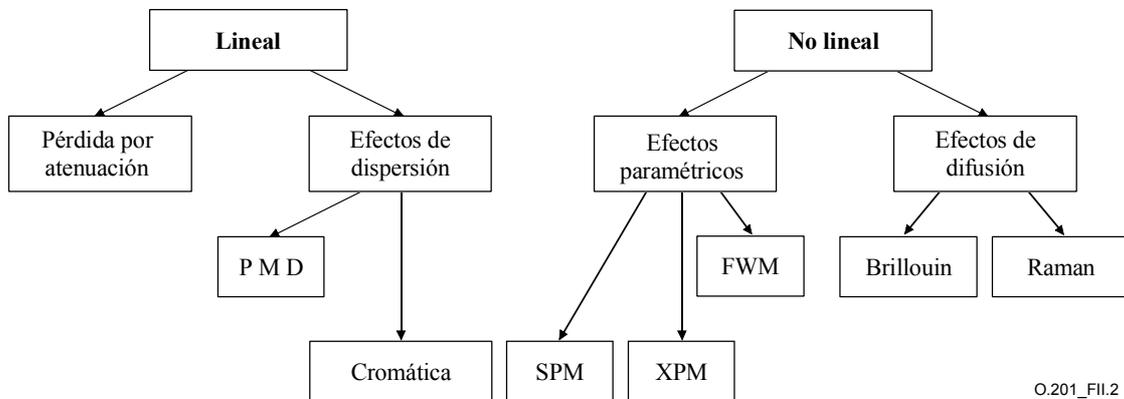


Figura II.2/O.201 – Fuentes de deterioro de la calidad de transmisión en multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM)

Como se observa en la figura II.2, la OSNR se determina mediante el ruido de amplificador y el efecto acumulado de las numerosas distorsiones lineales y no lineales que se producen en los sistemas de transmisión de fibra óptica de alta velocidad.

El método de prueba del factor Q puede aplicarse a todos esos deterioros y brinda, por consiguiente, informaciones adicionales sobre la calidad de transmisión, que no se pueden obtener mediante el espectro óptico ni las mediciones de la relación OSNR.

## **II.2.2 Tasa de errores en los bits**

Desde el punto de vista de un cliente digital, la tasa de errores en los bits (BER) de extremo a extremo es una medida fundamental de la calidad de cualquier sistema de transmisión digital. Debido a las numerosas interrelaciones entre los deterioros ópticos, no existe una relación directa entre la BER y las características ópticas.

Las mediciones de la BER se realizan fuera de servicio, ya que se basan en una comparación bit a bit realizada entre un tren de bits recibido y una secuencia de prueba conocida.

## **II.2.3 Tasa de errores en los bloques**

Las mediciones en servicio de la tasa de errores en los bloques puede reemplazar las pruebas de calidad de la BER, pero sólo se obtendrá información en los límites de la red óptica de transporte (OTN).

## **II.2.4 Factor Q**

El factor Q se define como la relación señal/ruido eléctrica (ESNR) en la entrada de un circuito de decisión de un receptor. La relación ESNR muestra todos los deterioros que los defectos ópticos y eléctricos producen en el punto examinado dentro de la red óptica. Si no se puede efectuar una verdadera medición de la BER (por ejemplo, debido al tiempo que se necesita para la prueba, al acceso a la prueba, etc.), se puede utilizar el método del factor Q para obtener una evaluación de la calidad de funcionamiento que se puede esperar cuando la red está en servicio.

En la ecuación A-4 y en el apéndice I, figura la definición del factor Q. Cabe observar que la precisión de la evaluación de la BER depende en gran medida de los puntos de medición utilizados para calcular el factor Q. Para obtener mejores resultados los valores  $\mu$  y  $\sigma$  de la ecuación A-4 se deben determinar a partir del desplazamiento posterior gaussiano a proximidad del centro del diagrama en ojo, tal como se describe en 5.5.

De por sí, los valores obtenidos al medir el factor Q sólo reflejarán las características de la red ya que funciona dentro del receptor del equipo QFME. Por consiguiente, la sensibilidad y la anchura de banda del receptor del equipo QFME se tienen que conocer con una gran precisión, a fin de poder sacar conclusiones sobre la calidad de funcionamiento del receptor del sistema.

A diferencia del control de los errores en los bloques y la tasa de errores en los bits, para determinar el factor Q sólo se requiere una conversión óptico/electrónica y una recuperación de temporizador, pero no se requiere ni decodificación de trama ni análisis de tara; por consiguiente, se pueden utilizar asimismo puntos de conexión de canal óptico entre regeneradores 3-R (véase la figura II.1). En el apéndice I se describe detalladamente la teoría del factor Q.

# **Apéndice III**

## **Imperfecciones que se han de tener en cuenta en la práctica**

En el apéndice I se examina la teoría del factor Q en condiciones ideales, suponiendo que el ruido gaussiano es la fuente perturbadora. En la práctica, es necesario tener en cuenta las siguientes imperfecciones.

### **III.1 Deterioros analógicos**

El aumento de la densidad de longitud de onda y el aumento de las velocidades binarias por longitud de onda llevan a los sistemas de transmisión óptica hasta sus límites, por lo que el ruido del amplificador deja de ser la causa dominante del deterioro de la señal.

Según el tipo de fibra, la longitud, la densidad de longitud de onda, los deterioros lineales y no lineales van a producir desviaciones con respecto a la distribución gaussiana ideal.

### **III.2 Dependencia de las secuencias**

El efecto de las secuencias recibidas en forma del diagrama en ojo puede influir en los resultados del factor Q.

Para las mediciones fuera de servicio, la secuencia deberá ser una señal de prueba entramada de conformidad con las normas pertinentes (por ejemplo, las Recomendaciones UIT-T G.707/Y.1322 [2], O.181 [10], G.709/Y.1331[3], etc.).

Para las señales de red óptica de transporte (OTN), la secuencia se debe estructurar conforme a lo especificado en 17.4/G.709/Y.1331 [3].

Para otros protocolos, se deben utilizar las secuencias de prueba más adecuadas, que se asemejan al tráfico de la red sometida a prueba.

### **III.3 Características del receptor**

Las diferencias entre las características del receptor del equipo QFME y las del elemento de red conectado a la línea que se está probando, pueden producir variaciones de las características reales con respecto a las características previstas.

En lo que se refiere a las características del receptor, es necesario tener en cuenta los siguientes puntos: respuesta de frecuencia, gama de niveles de entrada óptica, no linealidad y recorte, características de filtro de canal óptico sintonizable o DWDM, diafonía, aspectos del preamplificador.

### **III.4 Posición de fase de muestreo**

La posición a partir de la cual se efectúa el muestreo del diagrama en ojo (a lo ancho), puede incidir en las posibilidades de repetir la medición del factor Q.

### **III.5 Efectos en el factor Q**

Habida cuenta de las imperfecciones prácticas descritas *supra*, la evaluación del factor Q en base a un modelo de ruido gaussiano ideal puede dar lugar a extrapolaciones erróneas. Por consiguiente, este modelo se debe aplicar con una cierta cautela.

Como algunos efectos (por ejemplo, interferencias entre símbolos y diafonía) hacen que los niveles lógicos altos y bajos se dividan en varios niveles cada uno, las desviaciones más importantes con respecto al modelo gaussiano aparecen en las proximidades de esos niveles lógicos.

Otros efectos, como la modulación de fase cruzada, producen un ruido adicional, cuya distribución de amplitud puede ser diferente de la del ruido del receptor y del amplificador óptico, se añaden al ruido general y crean una nueva distribución gaussiana.

Por consiguiente, la distribución gaussiana puede resultar sumamente perturbada en las proximidades de los niveles lógicos, pero en las proximidades del nivel de decisión se encuentra muy cerca del modelo ideal (desplazamiento posterior gaussiano).

A fin de obtener resultados comparables para los diferentes fabricantes de equipos QFME, se propone que la evaluación del factor Q se base solamente en el desplazamiento posterior gaussiano, utilizando valores medidos de la BER de  $10^{-4}$  o inferiores, y que se excluyan las proximidades directas de los niveles lógicos "1" y "0".

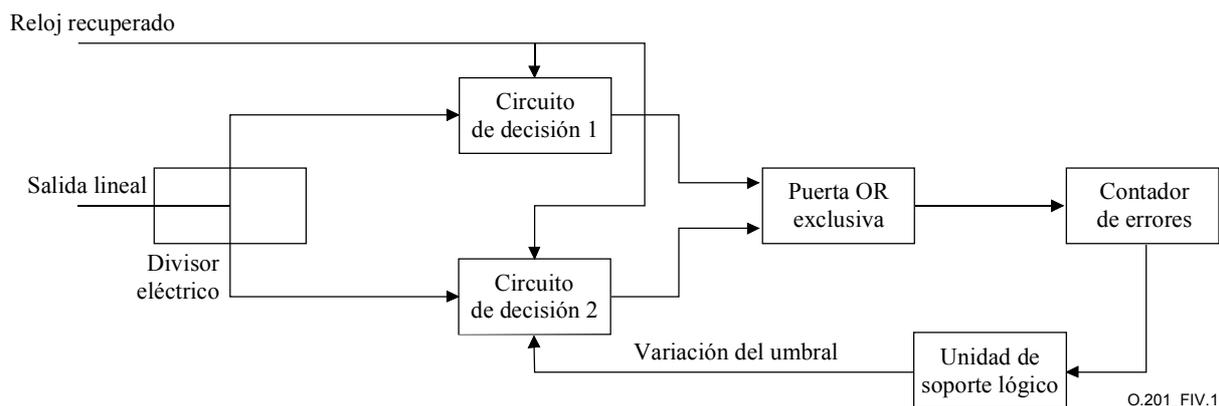
## Apéndice IV

### Propuestas de aplicación para los equipos QFME

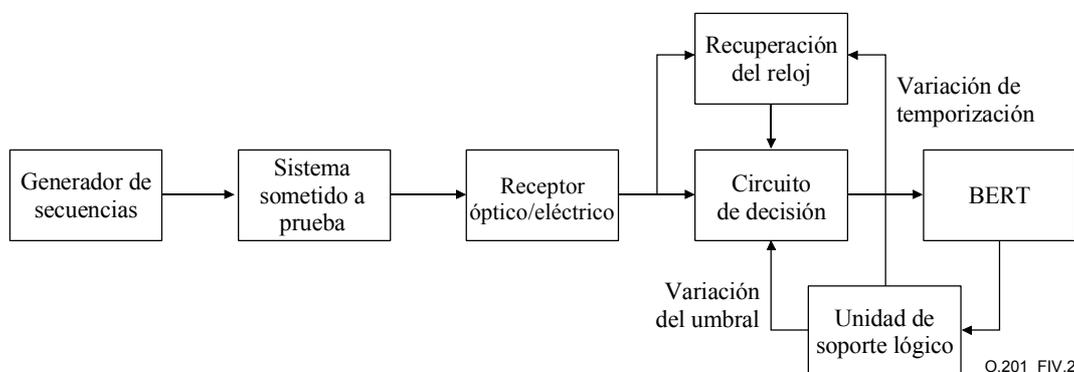
#### IV.1 Diagramas

En las figuras IV.1 y IV.2 se ilustran dos posibles soluciones, una que permite efectuar mediciones en servicio (véase la figura IV.1), por medio de dos circuitos de decisión, y otra (véase la figura IV.2) con un solo circuito de decisión para aplicaciones fuera de servicio.

Otras configuraciones que cumplen con los requisitos de la presente Recomendación, también son válidas.



**Figura IV.1/O.201 – Diagrama de una aplicación del equipo de medición del factor Q con dos circuitos de decisión**



**Figura IV.2/O.201 – Solución para la medición del factor Q con un solo circuito de decisión**

#### IV.2 Descripción funcional

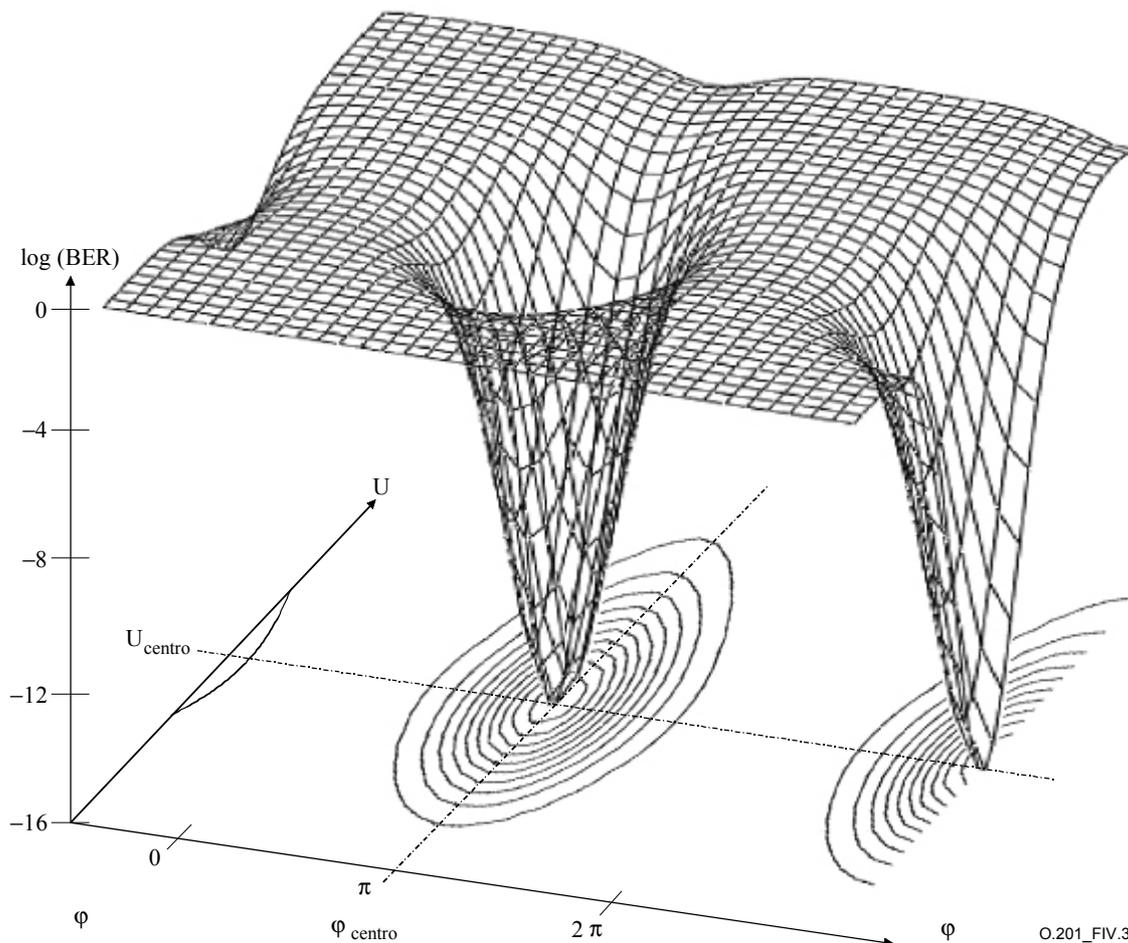
##### IV.2.1 Circuito de decisión doble

Conforme a la figura IV.1, la señal procedente del convertidor óptico/eléctrico alimenta a dos circuitos de decisión que efectúan el muestreo de la señal eléctrica con el reloj recuperado. El circuito de decisión 1 se ajusta a su posición óptima dentro del diagrama en ojo, que se utiliza como referencia. El circuito de decisión 2 se puede ajustar a valores arbitrarios relativos a la fase de muestreo y los niveles del umbral. Las diferencias en las salidas de esos dos circuitos de decisión se detectan por medio de una función OR exclusiva (EXOR) y se contabilizan como errores en los

bits. Por medio de una unidad de soporte lógico, se hacen variar los ajustes del circuito de decisión 2 y las tasas de errores en los bits resultantes se almacenan.

Este tipo de equipo no necesita una secuencia de prueba especial, y puede asimismo utilizar señales de tráfico real para efectuar las mediciones (véase también III.2).

Mediante el muestreo de la totalidad del diagrama en ojo en función de la tensión de umbral y la fase, esta configuración de medición es un elemento de muestreo del diagrama en ojo en el dominio de la BER. En la práctica, las mediciones de la BER se efectúan con respecto a la tensión de umbral, y se utiliza la fase de muestreo como parámetro (véase la figura IV.3).



**Figura IV.3/O.201 – Tasa de errores en los bits en función del umbral de decisión y la fase**

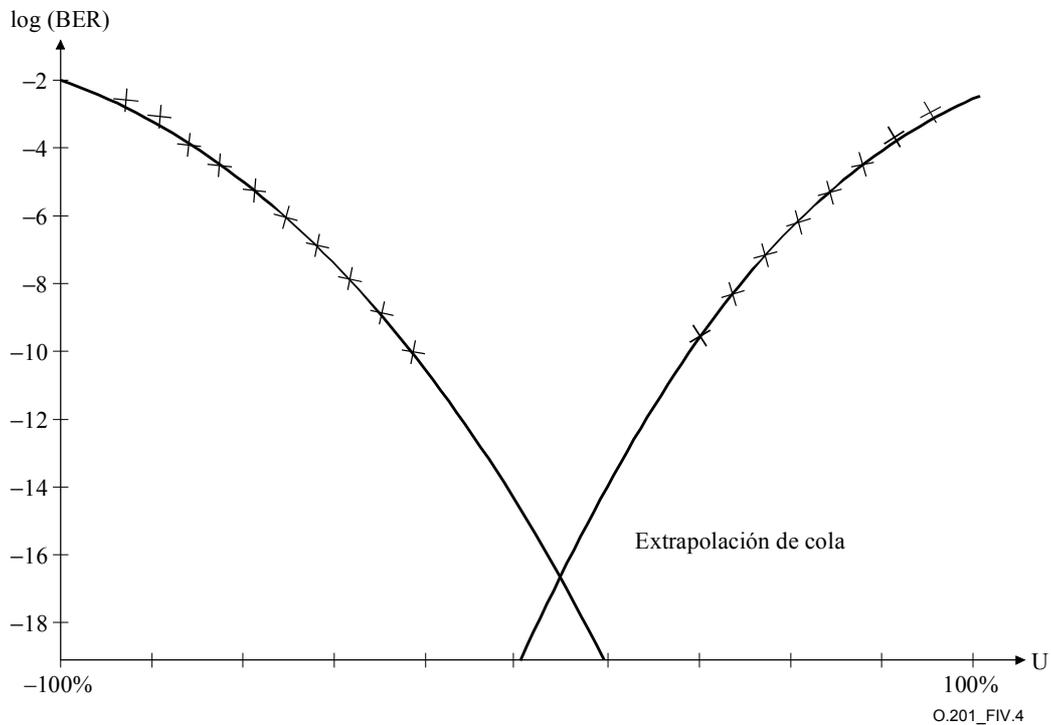
#### **IV.2.2 Circuito de decisión único**

A diferencia de la configuración de la figura IV.1, en este caso es necesario utilizar un tren de datos conocido [secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) procedente del generador de secuencias]. Los errores en los bits producidos por la variación de la tensión de umbral se cuentan comparando la salida del circuito de decisión con la secuencia de datos original, que se obtiene en el módulo BERT. Si bien el uso de secuencias de prueba conocidas permite aumentar la repetitividad del resultado, este método puede resultar limitado si el receptor de secuencias pierde sincronización debido a que la tensión de umbral o la fase de muestreo varían demasiado.

#### **IV.2.3 Procedimientos matemáticos y extrapolación**

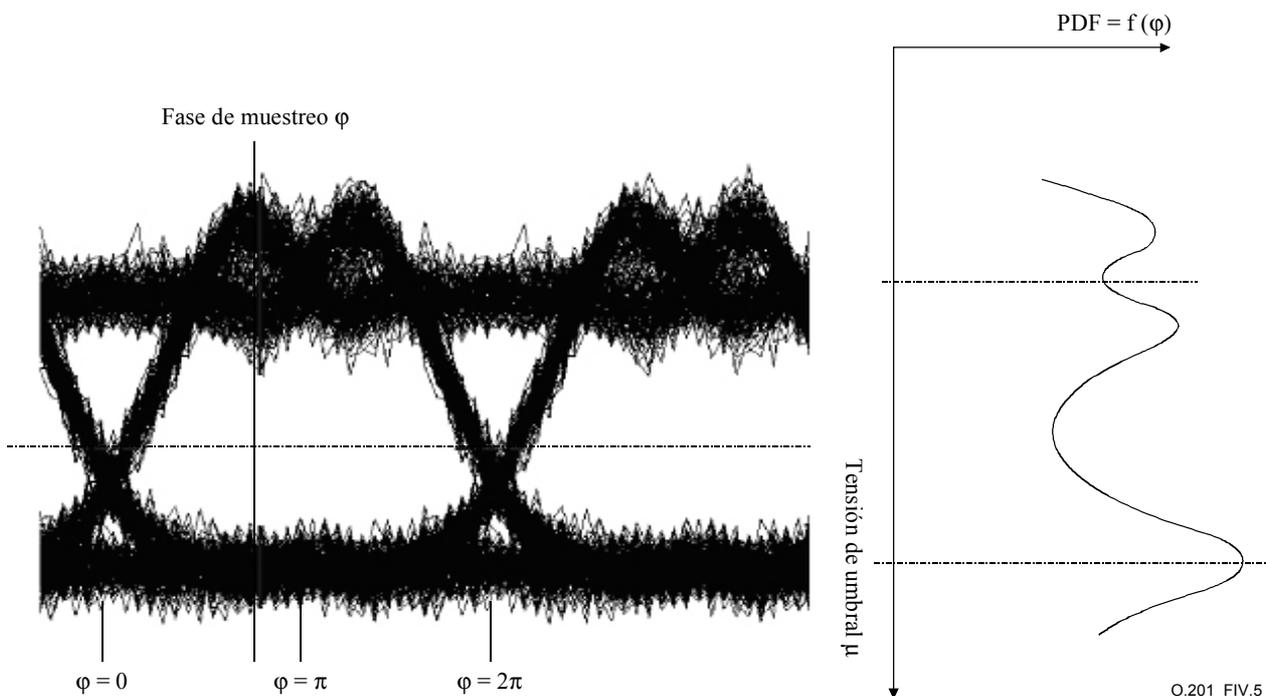
Según *P.A. Humblet* y *M. Azizoglu* [B1] el resultado buscado es la dependencia de la BER con respecto a la tensión de umbral.

Como se indica en la figura IV.4, hay dos conjuntos de puntos de medición que pertenecen respectivamente a la lógica 1 y 0. Para ambos conjuntos de puntos, se aplica un ajuste gaussiano. Ello se puede efectuar mediante el cálculo de las rectas de regresión en el dominio  $V = f(\mu)$ . Con los valores  $\mu$  y  $\sigma$  correspondientes, se calcula el valor  $Q$  de la señal. El proceso detallado se explica en el anexo A.

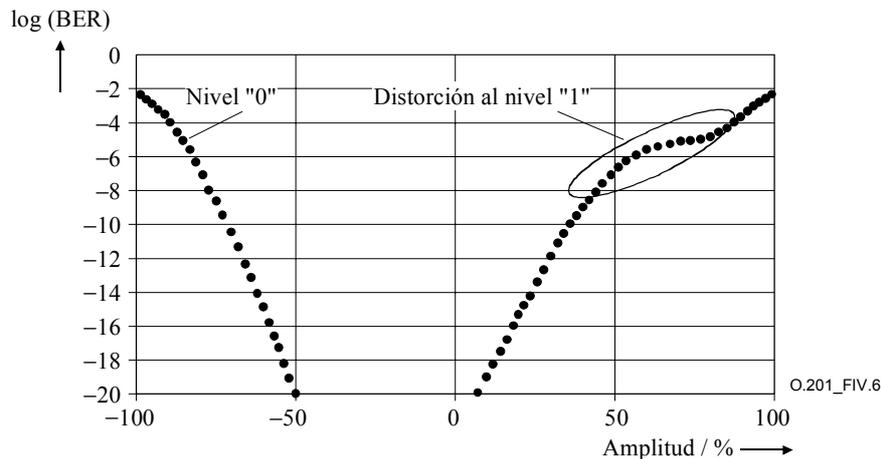


**Figura IV.4/O.201 – Extrapolación de puntos de medición**

Desviación con respecto a la distribución gaussiana:



**Figura IV.5/O.201 – Distribución no gaussiana**



**Figura IV.6/O.201 – Línea de interferencia discreta (por ejemplo, diafonía)**

Cuando se efectúa el muestreo de una señal con distribución no gaussiana (véase la figura IV.5), el ajuste se debe realizar con sumo cuidado. Los coeficientes de correlación (véase el anexo A) ya no valen 1 y el método de ajuste se debe modificar. A título de ejemplo (véase la figura IV.6), el ajuste se puede mejorar con solo utilizar datos correspondientes a la BER inferiores a  $10^{-7}$ .

### IV.3 Modos de medición

#### IV.3.1 Mediciones en servicio

Las mediciones en servicio se pueden efectuar con un dispositivo que se ajuste al diagrama de la figura IV.1, correspondiente a la figura 3/G.976 [8].

En este caso, en primer lugar se colocan la temporización y el umbral de decisión de referencia en una posición normalizada en el centro de la abertura ideal del diagrama en ojo. Seguidamente, se cambia el circuito de decisión de umbral variable con respecto a la temporización y al nivel y se registra la tasa de errores. En base a esos datos, la temporización y el umbral de decisión de referencia se ajustan automáticamente de manera óptima.

Luego, se vuelven a modificar los parámetros variables del circuito de decisión, se registran las tasas de errores y solamente se toman en consideración para una nueva evaluación las combinaciones de parámetros que producen tasas de errores inferiores a  $10^{-4}$ . Seguidamente, a partir de esos datos se calcula el factor Q.

#### IV.3.2 Mediciones fuera de servicio

Las mediciones fuera de servicio se pueden hacer también con el dispositivo que se indica en 6.3.1. Como estímulo, puede utilizarse tanto una señal proveniente de un canal vivo como de un generador de secuencias apropiado. En este caso, es posible también utilizar el equipo de medición del factor Q en lugar del receptor del sistema.

Otra posibilidad para efectuar una medición fuera de servicio es utilizar un dispositivo conforme a la figura IV.2.

En este caso, se necesita un generador de secuencias en el lado del transmisor, además de un equipo especial de medición de las tasas de errores en los bits (BER) con temporización y umbral de decisión ajustables, que se utilizará en el lado del receptor.

Se parte de una posición normalizada del umbral y la temporización y se registra la dependencia de la BER con respecto a la posición de la temporización y el umbral. A partir de esos datos, se calcula una temporización optimizada y se repite la medición de la BER con la variación del umbral

utilizando esa temporización optimizada. De esos resultados, sólo se utilizan para obtener el factor  $Q$  por extrapolación los que dan una BER inferior a  $10^{-4}$ .

## Apéndice V

### Pruebas de verificación adicionales

#### V.1 Respuesta en régimen de impulsos del receptor

Para verificar la respuesta en régimen de impulsos del receptor se puede utilizar la prueba ISI, en el caso en que el equipo QFME proporcione medios para el ajuste de fase del punto de decisión, y la prueba de fase.

##### V.1.1 Prueba de interferencia entre símbolos (ISI)

El factor  $Q$  se mide mediante una configuración de prueba de conformidad con lo indicado en 6.1.7, que comprende un transmisor digital de referencia en el que se ha incorporado un láser con modulación indirecta que genera una forma de impulso, de conformidad con las plantillas de impulsos de las Recomendaciones UIT-T G.957 [6] y G.691 [1].

Como señal de modulación se utiliza una secuencia 11001100 o una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) de  $2^{23} - 1$ . De ser posible, las pruebas se efectuarán con secuencias no entramadas. Para la secuencia 11001100 no se autoriza la aleatorización de la señal de modulación. Con los atenuadores ópticos de la figura 1, la OSNR se establece de manera que produzca un factor  $Q \approx 7$ , mientras que la potencia de entrada en el equipo QFME se establece en un valor intermedio dentro de la gama de niveles admisibles.

Si se utiliza un osciloscopio de muestreo para visualizar el diagrama en ojo de la señal transmitida, se confirma que, para ambas secuencias de modulación la señal está visualmente libre de ISI.

La diferencia entre los factores  $Q$  medidos con la secuencia 11001100 y los medidos con la secuencia PRBS deberá ser inferior a un porcentaje que se ha de determinar.

##### V.1.2 Prueba de fase

La señal PRBS de la configuración de calibración de la figura 1 se ajusta de conformidad con 6.1.7, de manera que en el equipo QFME se obtenga un valor de  $Q \approx 7$ .

En el equipo QFME la fase de muestreo varía en un  $\pm 10$  % (donde el 0% representa el centro del diagrama en ojo y el 100% representa el ancho binario).

El valor de  $Q$  obtenido no deberá diferir del resultado 0% en más de un 12% (1 dB).



## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
<b>Serie O</b>	<b>Especificaciones de los aparatos de medida</b>
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación