



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

LIBRO AZUL

TOMO III – FASCÍCULO III.3

MEDIOS DE TRANSMISIÓN CARACTERÍSTICAS

RECOMENDACIONES G.601 A G.654



IX ASAMBLEA PLENARIA
MELBOURNE, 14-25 DE NOVIEMBRE DE 1988

Ginebra 1989





UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

LIBRO AZUL

TOMO III – FASCÍCULO III.3

MEDIOS DE TRANSMISIÓN CARACTERÍSTICAS

RECOMENDACIONES G.601 A G.654



IX ASAMBLEA PLENARIA

MELBOURNE, 14-25 DE NOVIEMBRE DE 1988

Ginebra 1989

ISBN 92-61-03333-4



© UIT

Impreso en Suiza

**CONTENIDO DEL LIBRO DEL CCITT
EN VIGOR DESPUÉS DE LA NOVENA ASAMBLEA PLENARIA (1988)**

LIBRO AZUL

Tomo I

- FASCÍCULO I.1 – Actas e Informes de la Asamblea Plenaria.
Lista de las Comisiones de Estudio y de las Cuestiones en estudio.
- FASCÍCULO I.2 – Ruegos y Resoluciones.
Recomendaciones sobre la organización de los trabajos del CCITT (serie A).
- FASCÍCULO I.3 – Términos y definiciones. Abreviaturas y acrónimos. Recomendaciones sobre los medios de expresión (serie B) y las estadísticas generales de las telecomunicaciones (serie C).
- FASCÍCULO I.4 – Índice del Libro Azul.

Tomo II

- FASCÍCULO II.1 – Principios generales de tarificación – Tasación y contabilidad en los servicios internacionales de telecomunicación. Recomendaciones de la serie D (Comisión de Estudio III).
- FASCÍCULO II.2 – Red telefónica y RDSI – Explotación, numeración, encaminamiento y servicio móvil. Recomendaciones E.100 a E.333 (Comisión de Estudio II).
- FASCÍCULO II.3 – Red telefónica y RDSI – Calidad de servicio, gestión de la red e ingeniería de tráfico. Recomendaciones E.401 a E.880 (Comisión de Estudio II).
- FASCÍCULO II.4 – Servicios de telegrafía y móvil – Explotación y calidad de servicio. Recomendaciones F.1 a F.140 (Comisión de Estudio I).
- FASCÍCULO II.5 – Servicios de telemática, transmisión de datos y teleconferencia – Explotación y calidad de servicio. Recomendaciones F.160 a F.353, F.600, F.601 y F.710 a F.730 (Comisión de Estudio I).
- FASCÍCULO II.6 – Servicios de tratamiento de mensajes y guía – Explotación y definición del servicio. Recomendaciones F.400 a F.422 y F.500 (Comisión de Estudio I).

Tomo III

- FASCÍCULO III.1 – Características generales de las conexiones y circuitos telefónicos internacionales. Recomendaciones G.100 a G.181 (Comisiones de Estudio XII y XV).
- FASCÍCULO III.2 – Sistemas internacionales analógicos de portadoras. Recomendaciones G.211 a G.544 (Comisión de Estudio XV).
- FASCÍCULO III.3 – Medios de transmisión – Características. Recomendaciones G.601 a G.654 (Comisión de Estudio XV).
- FASCÍCULO III.4 – Aspectos generales de los sistemas de transmisión digital; equipos terminales. Recomendaciones G.700 a G.795 (Comisiones de Estudio XV y XVIII).
- FASCÍCULO III.5 – Redes digitales, secciones digitales y sistemas de línea digitales. Recomendaciones G.801 a G.961 (Comisiones de Estudio XV y XVIII).

- FASCÍCULO III.6 – Transmisión en línea de señales no telefónicas. Transmisión de señales radiofónicas y de televisión. Recomendaciones de las series H y J (Comisión de Estudio XV).
- FASCÍCULO III.7 – Red digital de servicios integrados (RDSI). Estructura general y capacidades de servicio. Recomendaciones I.110 a I.257 (Comisión de Estudio XVIII).
- FASCÍCULO III.8 – Red digital de servicios integrados (RDSI). Aspectos y funciones globales de la red, interfaces usuario-red de la RDSI. Recomendaciones I.310 a I.470 (Comisión de Estudio XVIII).
- FASCÍCULO III.9 – Red digital de servicios integrados (RDSI). Interfaces entre redes y principios de mantenimiento. Recomendaciones I.500 a I.605 (Comisión de Estudio XVIII).

Tomo IV

- FASCÍCULO IV.1 – Principios generales de mantenimiento: mantenimiento de los sistemas de transmisión y de los circuitos telefónicos internacionales. Recomendaciones M.10 a M.782 (Comisión de Estudio IV).
- FASCÍCULO IV.2 – Mantenimiento de circuitos internacionales de telegrafía y de telefotografía y de circuitos internacionales arrendados. Mantenimiento de la red telefónica pública internacional. Mantenimiento de sistemas marítimos por satélite y de transmisión de datos. Recomendaciones M.800 a M.1375 (Comisión de Estudio IV).
- FASCÍCULO IV.3 – Mantenimiento de circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión. Recomendaciones de la serie N (Comisión de Estudio IV).
- FASCÍCULO IV.4 – Especificaciones de los aparatos de medida. Recomendaciones de la serie O (Comisión de Estudio IV).

Tomo V

- Calidad de transmisión telefónica. Recomendaciones de la serie P (Comisión de Estudio XII).

Tomo VI

- FASCÍCULO VI.1 – Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización telefónicas. Funciones y flujos de información para los servicios de la RDSI. Suplementos. Recomendaciones Q.1 a Q.118 *bis* (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.2 – Especificaciones de los sistemas de señalización N.^{os} 4 y 5. Recomendaciones Q.120 a Q.180 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.3 – Especificaciones del sistema de señalización N.^o 6. Recomendaciones Q.251 a Q.300 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.4 – Especificaciones de los sistemas de señalización R1 y R2. Recomendaciones Q.310 a Q.490 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.5 – Centrales digitales locales, de tránsito, combinadas e internacionales en redes digitales integradas y en redes mixtas analógico-digitales. Suplementos. Recomendaciones Q.500 a Q.554 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.6 – Interfuncionamiento de los sistemas de señalización. Recomendaciones Q.601 a Q.699 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.7 – Especificaciones del sistema de señalización N.^o 7. Recomendaciones Q.700 a Q.716 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.8 – Especificaciones del sistema de señalización N.^o 7. Recomendaciones Q.721 a Q.766 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.9 – Especificaciones del sistema de señalización N.^o 7. Recomendaciones Q.771 a Q.795 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.10 – Sistema de señalización digital de abonado N.^o 1 (SDA 1), capa enlace de datos. Recomendaciones Q.920 a Q.921 (Comisión de Estudio XI).

- FASCÍCULO VI.11 – Sistema de señalización digital de abonado N.º 1 (SDA 1), capa red, gestión usuario-red. Recomendaciones Q.930 a Q.940 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.12 – Red móvil terrestre pública, interfuncionamiento con RDSI y RTPC. Recomendaciones Q.1000 a Q.1032 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.13 – Red móvil terrestre pública. Parte aplicación móvil e interfaces. Recomendaciones Q.1051 a Q.1063 (Comisión de Estudio XI).
- FASCÍCULO VI.14 – Interfuncionamiento con sistemas móviles por satélite. Recomendaciones Q.1100 a Q.1152 (Comisión de Estudio XI).

Tomo VII

- FASCÍCULO VII.1 – Transmisión telegráfica. Recomendaciones de la serie R. Equipos terminales para los servicios de telegrafía. Recomendaciones de la serie S (Comisión de Estudio IX).
- FASCÍCULO VII.2 – Conmutación telegráfica. Recomendaciones de la serie U (Comisión de Estudio IX).
- FASCÍCULO VII.3 – Equipo terminal y protocolos para los servicios de telemática. Recomendaciones T.0 a T.63 (Comisión de Estudio VIII).
- FASCÍCULO VII.4 – Procedimientos de prueba de conformidad para las Recomendaciones teletex. Recomendación T.64 (Comisión de Estudio VIII).
- FASCÍCULO VII.5 – Equipo terminal y protocolos para servicios de telemática. Recomendaciones T.65 a T.101 y T.150 a T.390 (Comisión de Estudio VIII).
- FASCÍCULO VII.6 – Equipo terminal y protocolos para servicios de telemática. Recomendaciones T.400 a T.418 (Comisión de Estudio VIII).
- FASCÍCULO VII.7 – Equipo terminal y protocolos para servicios de telemática. Recomendaciones T.431 a T.564 (Comisión de Estudio VIII).

Tomo VIII

- FASCÍCULO VIII.1 – Comunicación de datos por la red telefónica. Recomendaciones de la serie V (Comisión de Estudio XVII).
- FASCÍCULO VIII.2 – Redes de comunicación de datos: servicios y facilidades, interfaces. Recomendaciones X.1 a X.32 (Comisión de Estudio VII).
- FASCÍCULO VIII.3 – Redes de comunicación de datos: transmisión, señalización y conmutación, aspectos de red, mantenimiento, disposiciones administrativas. Recomendaciones X.40 a X.181 (Comisión de Estudio VII).
- FASCÍCULO VIII.4 – Redes de comunicación de datos: Interconexión de sistemas abiertos (ISA) – Modelo y notación, definición del servicio. Recomendaciones X.200 a X.219 (Comisión de Estudio VII).
- FASCÍCULO VIII.5 – Redes de comunicación de datos: Interconexión de sistemas abiertos (ISA) – Especificación de protocolos, pruebas de conformidad. Recomendaciones X.220 a X.290 (Comisión de Estudio VII).
- FASCÍCULO VIII.6 – Redes de comunicación de datos: Interfuncionamiento entre redes, sistemas móviles de transmisión de datos, gestión interredes. Recomendaciones X.300 a X.370 (Comisión de Estudio VII).
- FASCÍCULO VIII.7 – Redes de comunicación de datos: Sistemas de tratamiento de mensajes. Recomendaciones X.400 a X.420 (Comisión de Estudio VII).
- FASCÍCULO VIII.8 – Redes de comunicación de datos: La guía. Recomendaciones X.500 a X.521 (Comisión de Estudio VII).

Tomo IX

- Protección contra las perturbaciones. Recomendaciones de la serie K (Comisión de Estudio V) – Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior. Recomendaciones de la serie L (Comisión de Estudio VI).

Tomo X

- FASCÍCULO X.1 – Lenguaje de especificación y descripción funcionales (LED). Criterios para la utilización de técnicas de descripción formal (TDF). Recomendación Z.100 y anexos A, B, C y E, Recomendación Z.110 (Comisión de Estudio X).
 - FASCÍCULO X.2 – Anexo D a la Recomendación Z.100: Directrices para el usuario del LED (Comisión de Estudio X).
 - FASCÍCULO X.3 – Anexo F.1 a la Recomendación Z.100: Definición formal del LED. Introducción (Comisión de Estudio X).
 - FASCÍCULO X.4 – Anexo F.2 a la Recomendación Z.100: Definición formal del LED. Semántica estática (Comisión de Estudio X).
 - FASCÍCULO X.5 – Anexo F.3 a la Recomendación Z.100: Definición formal del LED. Semántica dinámica (Comisión de Estudio X).
 - FASCÍCULO X.6 – Lenguaje de alto nivel del CCITT (CHILL). Recomendación Z.200 (Comisión de Estudio X).
 - FASCÍCULO X.7 – Lenguaje hombre-máquina (LHM). Recomendaciones Z.301 a Z.341 (Comisión de Estudio X).
-

ÍNDICE DEL FASCÍCULO III.3 DEL LIBRO AZUL

Parte I — Sección 6 — Recomendaciones G.601 a G.654

Características de los medios de transmisión

Rec. N.º		Página
SECCIÓN 6 — Características de los medios de transmisión		
6.0	Consideraciones generales	
G.601	Terminología para cables	3
G.602	Fiabilidad y disponibilidad de los sistemas de transmisión analógica por cable y de los equipos conexos	8
6.1	Cables de pares simétricos	
G.611	Características de los cables de pares simétricos para transmisión analógica	11
G.612	Características de los cables de pares simétricos concebidos para la transmisión de señales digitales de velocidad binaria del orden de 6 a 34 Mbit/s	15
G.613	Características de los pares simétricos en cable que pueden utilizarse en su totalidad para la transmisión de señales de sistemas digitales a velocidades binarias de hasta 2 Mbit/s	19
G.614	Características de los cables de cuadretes en estrella de pares simétricos concebidos para anteriores sistemas de transmisión analógicos y actualmente utilizados para la transmisión de sistemas digitales a velocidades binarias de 6 a 34 Mbit/s	23
6.2	Cables terrestres de pares coaxiales	
G.621	Características de los cables de pares coaxiales de 0,7/2,9 mm	28
G.622	Características de los cables de pares coaxiales de 1,2/4,4 mm	31
G.623	Características de los cables de pares coaxiales de 2,6/9,5 mm	38
6.3	Cables submarinos	
G.631	Tipos de cables submarinos que se utilizarán para sistemas con frecuencias de línea inferiores a unos 45 MHz	45

Rec. N.º		Página
6.4	Guiaondas	
G.641	Diámetros de los guiaondas	46
6.5	Cables de fibra óptica	
G.651	Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 µm .	47
G.652	Características de un cable de fibra óptica monomodo	77
G.653	Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada	110
G.654	Características de los cables de fibra óptica monomodo con pérdida minimizada a una longitud de onda de 1550 nm	114

Parte II – Suplementos a las Recomendaciones de la sección 6 de las Recomendaciones de la serie G

Suplemento N.º 11	Información sobre los barcos y equipos sumergibles de diversos países	119
Suplemento N.º 14	Métodos de medición de la pérdida de retorno por irregularidades	127
Suplemento N.º 18	Información sobre cables submarinos utilizados en aguas profundas	127
Suplemento N.º 19	Medición de la diafonía en régimen digital (método utilizado por las Administraciones de Francia, Países Bajos y España)	127
Suplemento N.º 33	Ejemplos de directrices para el diseño de fibras ópticas	127

NOTA PRELIMINAR

En este fascículo, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una Administración de telecomunicaciones como una empresa privada de explotación de telecomunicaciones reconocida.

PARTE I

Recomendaciones G.601 a G.654

CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN

(Sección 6 de las Recomendaciones de la serie G)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

SECCIÓN 6

CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Esta sección contiene las Recomendaciones que tratan de los medios físicos de transmisión, tanto en modo analógico como digital, y no se refiere a las líneas de hilo desnudo ni a los sistemas de radioenlaces. Sólo se refiere a los cables para frecuencias vocales en cuanto medios físicos de transmisión en modo digital.

6.0 Consideraciones generales

Recomendación G.601

TERMINOLOGÍA PARA CABLES

(Ginebra, 1980)

1 Términos generales: repetidores, telealimentación, etc.

1001 repetidor

E: repeater

F: répéteur

Equipo que incluye esencialmente uno o varios amplificadores y/o *regeneradores* y dispositivos asociados, insertado en un punto de un medio de transmisión.

Nota – Un repetidor puede funcionar en uno o ambos sentidos de transmisión.

1002 repetidor analógico

E: analogue repeater; analog repeater

F: répéteur analogique

Repetidor para la amplificación de señales analógicas o *señales digitales*, y que es capaz de efectuar otras funciones, excepto la *regeneración de señales digitales*.

1003 repetidor regenerativo

E: regenerative repeater

F: répéteur régénérateur

Repetidor que asegura la *regeneración de señales digitales* y que es capaz de efectuar otras funciones.

Nota – Esta definición no es la misma que aparece en la Recomendación G.701 [1]. Cuando se redactó la Recomendación G.701 no existía una definición CCITT adecuada de repetidor. El conjunto de las definiciones que aquí figuran muestra que sería mejor incluir la definición de repetidor regenerativo en el contexto de las definiciones para los sistemas de transmisión, en lugar de definirlo como un dispositivo, cual es el caso en la Recomendación G.701.

1004 **estación (de repetidores) alimentada directamente**

E: directly powered (repeater) station

F: station (de répéteurs) à alimentation indépendante; station (de répéteurs) autoalimentée

Estación de repetidores que recibe su alimentación en energía eléctrica directamente de la red de distribución o de un generador local.

1005 **estación (de repetidores) de telealimentación; estación (de repetidores) de alimentación**

E: power feeding (repeater) station

F: station d'alimentation (de répéteurs)

Estación de repetidores alimentada directamente que suministra energía eléctrica a otras estaciones de repetidores.

1006 **estación (de repetidores) telealimentada**

E: dependent (repeater) station

F: station (de répéteurs) télalimentée

Estación de repetidores que recibe la alimentación en energía eléctrica que le es necesaria, desde una estación de repetidores de telealimentación.

Nota — La energía eléctrica puede ser enviada hacia la estación telealimentada a través del medio físico de transmisión, o de conductores situados bajo la misma cubierta del cable, o por cables exteriores.

1007 **extremo de sección**

E: section termination

F: extrémité de section

Punto elegido convencionalmente para ser el interfaz entre el medio físico de transmisión y el equipo asociado, tal como los repetidores.

Nota — Para la determinación precisa del punto que ha de constituir el extremo de sección se deben tener en cuenta los elementos accesorios asociados tales como empalmes, conectores o flexibles (de conexión) para incluirlos, según el caso, a uno o a ambos lados del extremo.

1008 **sección elemental de cable**

E: elementary cable section

F: section élémentaire de câble

Conjunto formado por el medio físico de transmisión y todos los elementos accesorios tales como empalmes, conectores o flexibles (de conexión) incluidos entre dos extremos de sección consecutivos.

1009 **sección elemental con amplificación**

E: elementary repeatered section

F: section élémentaire amplifiée

Para un sentido de transmisión dado, conjunto formado por una sección elemental de cable y el repetidor analógico inmediato siguiente, todo ello incluido entre dos extremos de sección.

1010 **sección elemental con regeneración**

E: elementary regenerated section

F: section élémentaire régénérée

Para un sentido de transmisión dado, conjunto formado por una sección elemental de cable y el repetidor regenerativo inmediato siguiente, todo ello incluido entre dos extremos de sección.

1011 **factor de cableado**

E: take-up factor

F: facteur de câblage

Relación entre el valor de un parámetro distribuido medido en la unidad de longitud de un cable y el valor del mismo parámetro medido en la unidad de longitud de un par de ese mismo cable.

En efecto, como consecuencia del cableado (reunión de los elementos y, eventualmente, torsión de los hilos en pares, y en cuadretes), la longitud de los elementos del cable es superior a la longitud de éste medida sobre su eje. El factor de cableado es la relación entre estas dos longitudes.

1012 Ilustración gráfica del uso de algunos términos indicados en este § 1.

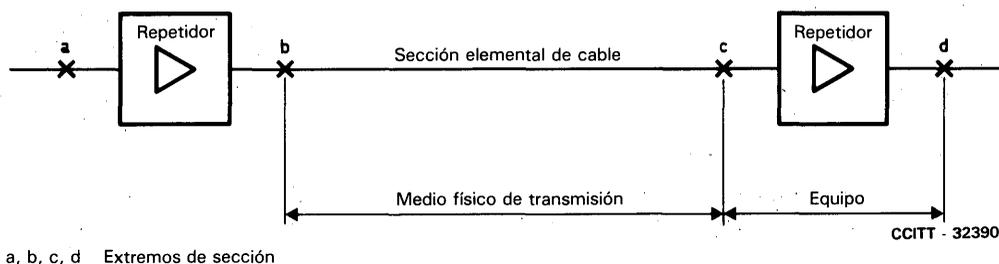


FIGURA 1/G.601
Terminología genérica para repetidores y secciones de cable

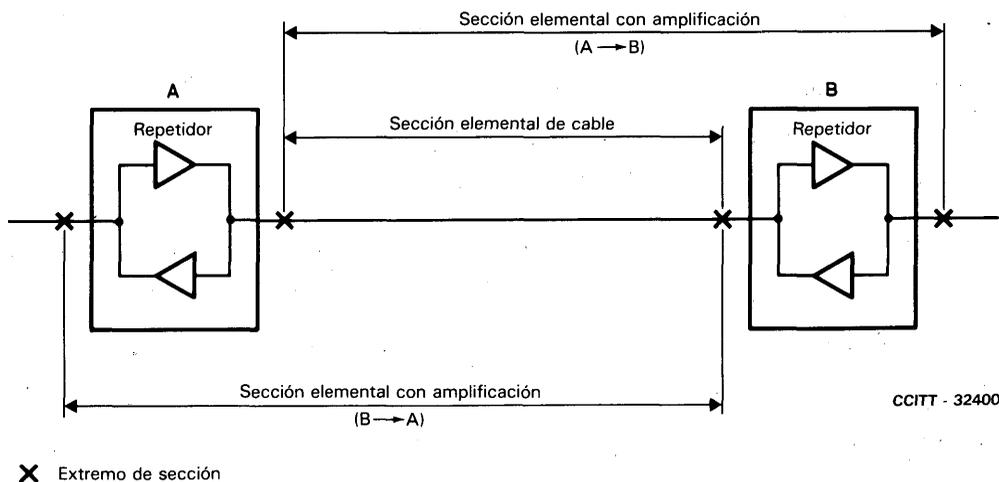


FIGURA 2/G.601
Terminología para secciones elementales con amplificación

2 **Términos relativos a las mediciones en cables**

2.1 *Empleo del término eco (únicamente para mediciones en cables)*

2101 **eco**

E: echo

F: écho

Onda eléctrica, acústica o electromagnética que llega a un punto dado, tras haber sufrido reflexión o propagación indirecta, con una intensidad y un retardo suficientes como para ser percibida en ese punto como una onda distinta de la onda directa.

2102 **eco hacia atrás**

E: backward echo

F: écho (vers l'amont)

Eco que llega a un punto determinado con sentido de transmisión opuesto al de la señal directa.

2103 **eco hacia adelante**

E: forward echo

F: écho vers l'aval; trainage

Eco que llega a un punto determinado con el mismo sentido de transmisión que la señal directa.

2.2 *Mediciones con impulsos*

2201 **medición ecométrica**

E: echometric measurement

F: mesure échométrique

Medición efectuada estudiando el *eco* que se produce como resultado de la emisión de una señal de duración limitada, conocida por «señal de medida», con el objeto de analizar todas las causas de reflexiones.

2202 **duración del impulso**

E: pulse duration

F: durée d'une impulsion

Intervalo de tiempo entre el primero y el último instante en los cuales el valor instantáneo de un impulso (o de su envolvente si se trata de un impulso de frecuencia portadora) alcanza una fracción especificada de la amplitud de cresta.

2203 **impulso en seno cuadrado**

E: sine-squared pulse

F: impulsion en sinus carré

Impulso unidireccional definido por la expresión.

$$y = K \text{ sen}^2 (\pi t/2T) \text{ para } 0 \leq t \leq 2T$$
$$y = 0 \text{ para } t < 0 \text{ y } t > 2T$$

donde

K es la amplitud máxima;

T es la *duración del impulso* determinada por sus puntos de semiamplitud;

t es el tiempo.

2204 **ecómetro de impulsos**

E: pulse echo meter

F: échomètre à impulsions

Aparato diseñado para efectuar *mediciones ecométricas* mediante impulsos.

2205 **eco elemental**

E: elementary echo

F: écho élémentaire

En una *medición ecométrica*, el estado del *eco* en un intervalo de tiempo de duración comparable con la de la señal de prueba.

2206 **amplitud de cresta de un eco elemental**

E: peak amplitude of an elementary echo

F: amplitude de crête d'un écho élémentaire

Valor máximo alcanzado por la amplitud del *eco*, durante un *eco elemental*.

2207 **amplitud relativa de un eco elemental**

E: relative amplitude of an elementary echo

F: amplitude relative d'un écho élémentaire

Relación entre la *amplitud de cresta de un eco elemental* y la amplitud máxima de la señal de medida, evaluada en el punto de emisión.

2208 **pérdida de retorno para el eco; atenuación de eco**

E: pulse echo return loss; pulse echo attenuation

F: affaiblissement d'écho

Amplitud relativa de un eco elemental expresada en unidades de transmisión.

2209 **eco corregido en amplitud**

E: amplitude-corrected echo

F: écho corrigé en amplitude

Eco observado después de haber sido tratado con el fin de efectuar por lo menos una corrección parcial de los efectos de la propagación sobre la amplitud del eco.

2210 **eco corregido en amplitud y en fase**

E: amplitude- and phase-corrected echo

F: écho corrigé en amplitude et en phase

Eco observado después de haber tratado con el fin de corregir los efectos de propagación sobre la amplitud y la forma del eco.

2211 **curva de eco**

E: echo curve

F: courbe d'écho

Representación gráfica u osciloscópica de la amplitud del *eco* en función del tiempo.

Nota — El eco puede estar corregido en amplitud o en amplitud y fase; la curva puede denominarse entonces, según el caso, «curva de eco corregido en amplitud» o «curva de eco corregido en amplitud y fase».

2212 **error de resistencia equivalente**

E: equivalent resistance error

F: écart équivalent

Valor de una desviación hipotética de la impedancia que, de estar situada en el extremo de una sección de un medio de transmisión, produciría en una medición ecométrica en ese extremo, la misma energía reflejada que todas las irregularidades de la sección.

2213 **error de resistencia equivalente corregido**

E: corrected equivalent resistance error

F: écart équivalent corrigé

Error de resistencia equivalente evaluado por una medición ecométrica que comprende la corrección del eco. La corrección puede efectuarse en amplitud o en amplitud y fase, o de acuerdo con otros criterios (por ejemplo, en energía).

Nota — El *error de resistencia equivalente corregido* puede evaluarse con relación a un kilómetro como la relación Δ_k entre el error de resistencia equivalente corregido Δ_e medido en una sección de cable y la raíz cuadrada de la longitud L de esta sección, en kilómetros:

$$\Delta_k = \Delta_e / \sqrt{L} \Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$$

2.3 Mediciones efectuadas con una señal sinusoidal

2301 coeficiente de reflexión de las irregularidades

E: irregularity reflection coefficient

F: facteur de réflexion sur les irrégularités

Coeficiente de reflexión medido en un extremo de una sección de un medio de transmisión, para un modo de propagación especificado, en condiciones que permiten la eliminación de los efectos de las reflexiones, salvo los de las que se producen en irregularidades inherentes a la sección considerada.

2302 pérdida de retorno por irregularidades

E: regularity loss

F: affaiblissement de l'onde réfléchi sur les irrégularités

Expresión, en unidades de transmisión, del módulo del *coeficiente de reflexión de las irregularidades* P_i . Su valor en decibelios se da por la expresión:

$$A_i = -20 \log_{10} |P_i|$$

Referencias

- [1] Recomendación del CCITT *Vocabulario relativo a la modulación por impulsos codificados (MIC) y a la transmisión digital*, Tomo III, Rec. G.701.

Recomendación G.602

FIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ANALÓGICA POR CABLE Y DE LOS EQUIPOS CONEXOS

(Málaga-Torremolinos, 1984)

1 Generalidades

Sistema de transmisión: todo lo que se necesita para proporcionar un trayecto de transmisión (por ejemplo, un canal de 4 kHz) en condiciones de funcionamiento adecuadas entre los interfaces de terminación. Comprende el equipo de traslación, el equipo terminal de línea, el equipo intermedio de línea, el cable, la alimentación de energía, las fuentes de energía primaria y de reserva y también podría incluir el equipo de paso a enlace de reserva cuando se dispone de conmutación de protección automática.

2 Definiciones

a) *Fiabilidad de los sistemas de transmisión analógica por cable*

Se define la fiabilidad de una unidad aislada de un equipo de transmisión analógica o de un sistema de transmisión completo como la probabilidad de que este elemento pueda realizar su función requerida durante un determinado intervalo de tiempo. Un parámetro para cuantificar esta fiabilidad es el tiempo medio entre fallos (TMEF). Se considera que existe un fallo del sistema:

- 1) cuando se pierde por completo la señal;
- 2) cuando el nivel de la señal piloto cae a 10 dB por debajo de su valor nominal;
- 3) cuando la potencia de ruido no ponderado total, medida o calculada con un tiempo de integración de 5 ms, excede de 1 millón de pW (10^6 pW) en el circuito ficticio de referencia de 2500 km (véase la Recomendación G.222).

En todos los casos esta condición debe durar por lo menos 10^{11} segundos.

¹⁾ Este valor debe considerarse provisional.

b) *Disponibilidad de los sistemas de transmisión analógica por cable*

Se define la disponibilidad de un sistema de transmisión analógica como la capacidad del sistema para estar en condiciones de funcionar adecuadamente (operacional) en un determinado instante de tiempo o en cualquier instante de tiempo dentro de un determinado intervalo. En la presente Recomendación, la disponibilidad de un sistema de transmisión analógica queda cuantificada por la relación entre el tiempo durante el cual el sistema está operacional y un tiempo total especificado.

Cuatro factores que influyen en la disponibilidad son:

- la fiabilidad del equipo;
- la conmutación de protección automática;
- los procedimientos de mantenimiento;
- el itinerario y la protección del cable.

Al considerar la importancia que ha de atribuirse a los distintos factores deben tenerse debidamente en cuenta los aspectos económicos.

Nota – La experiencia demuestra que en muchos casos los fallos del cable predominan (en una proporción del orden del 95% del tiempo de indisponibilidad) sobre los fallos del equipo y que la longitud de la sección de línea y el tipo de ruta (por ejemplo, a lo largo de carreteras con intensa circulación, etc.) tienen una influencia decisiva en los valores de disponibilidad que es posible conseguir.

3 **Objetivos**

a) *Fiabilidad*

Conforme se indica en la definición de disponibilidad, la fiabilidad es sólo uno de los factores que contribuyen a la obtención del objetivo en materia de disponibilidad. Por ello no se recomienda ningún objetivo concreto en lo que atañe a la fiabilidad.

b) *Disponibilidad*

1) *Circuito ficticio de referencia (2500 km)*

El objetivo para la disponibilidad de un circuito ficticio de referencia de 2500 km en un sentido debe ser superior a 99,6% durante un periodo de un año. Esto tiene en cuenta las interrupciones tanto en el equipo de traslación y de línea como en el cable y en los equipos de alimentación de energía asociados. Para conseguir este objetivo puede que haga falta una conmutación de protección apropiada.

2) *Equipo de traslación*

El objetivo de proyecto para la disponibilidad del equipo de traslación, según el anexo y la figura A-1/G.602, de un circuito ficticio de referencia de 2500 km como el recomendado para los diferentes sistemas de transmisión, debe ser superior a 99,9%, medido durante un periodo de un año en un sentido de transmisión.

3) *Sección de línea*

El objetivo de proyecto para la disponibilidad de una sección homogénea de 280 km en un sentido se deducirá del requisito global aplicable al circuito ficticio de referencia. Su valor exacto depende del diseño de la red.

ANEXO A

(a la Recomendación G.602)

Ejemplo de cálculo

Ejemplo de cálculos de fiabilidad y disponibilidad para una sección de línea, en un sentido, basados en los siguientes supuestos:

- 1) Tiempo medio entre fallos de un repetidor de línea = 2×10^5 horas (unidireccional)
 - 2) 100 repetidores de línea por sección
 - 3) Cada fallo dura 4 horas
 - 4) Cable de 12 tubos con conmutación de protección 1:5.
- a) *Fiabilidad (MTBF)*

- 100 repetidores tendrán un fallo en $\left(\frac{2 \times 10^5}{100} \right) = 2000$ horas

b) *Disponibilidad (A)*

- Esto es, aproximadamente 4½ fallos por año × 4 horas = 18 horas de interrupción por año (0,2%).
- Sin conmutación de protección $A_1 = 99,8\%$
No disponible $X_0 = 2 \times 10^{-3}$.
- Con conmutación automática de protección: $A_2 = \left[1 - \frac{(N + M)!}{(M + 1)!N!} X_0^{M + 1} \right] \times 100\%$

donde

$N = 5$ (número de sistemas en servicio)

$M = 1$ (número de sistemas de protección)

$$A_2 = \left[1 - \frac{6!}{2! 5!} (2 \times 10^{-3})^2 \right] \times 100\% = \left[1 - (12 \times 10^{-6}) \right] \times 100\% \doteq 99,999\%$$

Nota - Los cálculos se refieren sólo a la electrónica y no toman en consideración eventuales cortes del cable.

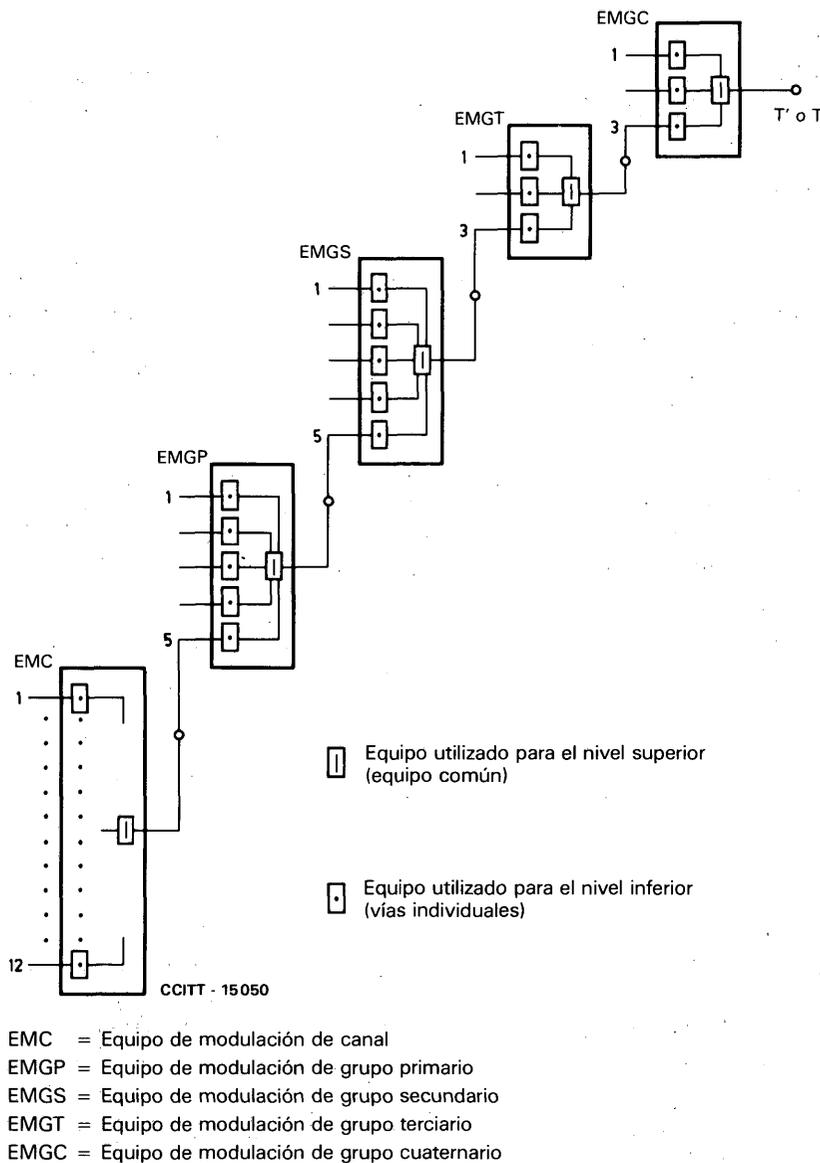


FIGURA A-1/G.602

Plan de las etapas de modulación que muestra el equipo común y las vías individuales
(Se ha presentado como ejemplo el plan 1 de la Recomendación G.211)

6.1 Cables de pares simétricos

Recomendación G.611

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE PARES SIMÉTRICOS PARA TRANSMISIÓN ANALÓGICA

(antigua Recomendación G.321, Ginebra, 1974; modificada en Ginebra, 1980)

1 Especificación del cable — Ejemplos de las características eléctricas de cables con cuadretes en estrella, destinados a proporcionar 12, 24, 36, 48, 60 ó 120 canales telefónicos de portadoras en cada par de un cuadrete

1.1 Tipos de cable

Las Administraciones que decidan equipar su red con cables de pares simétricos deberán elegirlos dentro de lo posible entre los tipos de cables definidos seguidamente.

Los nuevos cables que se tienden en la red telefónica internacional europea y norteafricana contienen pares simétricos no cargados, destinados a la explotación con 12, 24, 36, 48, 60 ó 120 canales telefónicos de portadoras en cada par. Estos pares están agrupados por cuadretes en estrella, y todos los pares no cargados de un mismo cable pertenecen a uno de los tipos cuyas características nominales se indican en el cuadro 1/G.611.

Es indispensable que toda sección elemental de cable que atraviese una frontera sea de tipo uniforme en toda su longitud. Cuando se trate de una sección fronteriza entre un país de gran extensión y otro de extensión reducida, la Administración del país de mayor extensión hará todo lo posible por aceptar el tipo adoptado en el otro país, a fin de no obligar a las Administraciones de los países de pequeña extensión a emplear secciones de cable internacional de tipo diferente al utilizado en sus cables nacionales.

Nota 1 — Consagrando especial atención al equilibrado de la diafonía y adoptando un valor apropiado para la separación de las estaciones de repetidores, algunas Administraciones han conseguido establecer sistemas de dos grupos secundarios conformes con la Recomendación G.322, en pares simétricos con aislamiento de papel, conformes con la presente especificación.

Nota 2 — También es posible establecer sistemas de dos grupos secundarios, conformes con la Recomendación G.322, en pares de los tipos II *bis* y III *bis*. Los pares del tipo II *bis* están aislados con polietileno y los del tipo III *bis* con estiroflex.

CUADRO 1/G.611

	Tipo I	Tipo II	Tipo II <i>bis</i>	Tipo III	Tipo III <i>bis</i>
Diámetro de los conductores (mm)	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3
Capacidad efectiva (nF/km)	33	26,5	21	28	22
Impedancia característica (Ω)					
a 60 kHz	153	178	206	170	196
a 120 kHz	148	174	203	165	193
a 240 kHz	—	172	200	163	190
a 550 kHz	—	—	198	—	188
Atenuación por unidad de longitud a 10 °C en dB/km					
a 60 kHz	2,3	—	—	—	—
a 120 kHz	3,1	2,0	1,5	1,8	1,4
a 240 kHz	—	2,9	2,1	2,7	2,0
a 552 kHz	—	4,8	3,1	4,4	3,0

1.2 Regularidad de los largos de fabricación

La regularidad puede caracterizarse por uno u otro de los métodos equivalentes descritos a continuación, cuya elección incumbirá a las Administraciones interesadas.

1.2.1 Capacidad efectiva

La «capacidad efectiva» se mide entre los dos conductores del par, estando conectados todos los demás conductores del cable entre sí y a la cubierta del cable.

Diferencias de capacidad efectiva

Cable del tipo I – La media de las capacidades efectivas de todos los pares en cualquier largo de fabricación no deberá diferir del valor nominal más de $\pm 5\%$.

En cualquier largo de fabricación, la diferencia entre un valor individual cualquiera de capacidad efectiva y el valor medio obtenido para ese largo de fabricación no deberá ser superior a $\pm 7,5\%$; la media aritmética de los valores absolutos de estas diferencias no deberá ser superior a $2,5\%$.

Cables de los tipos II, II bis, III y III bis – La capacidad efectiva media de cualquier largo no deberá diferir más de $\pm 3\%$ del valor nominal.

En cualquier largo de fabricación, la diferencia entre la capacidad efectiva de un par cualquiera y la capacidad media para ese largo de cable no deberá ser superior a $\pm 5\%$.

1.2.2 Diferencias de impedancia (cables de los tipos II, II bis; III y III bis)

La parte real de la impedancia característica de cualquier circuito a la frecuencia de 120 kHz no deberá diferir más de $\pm 5\%$ del valor medio de todos los pares de la primera serie de fabricación de varios largos de cada tipo. Este valor medio no podrá diferir más de $\pm 5\%$ del valor nominal a 120 kHz.

La impedancia se medirá en los largos de fabricación utilizando un puente, terminando los circuitos en una impedancia constantemente igual a la medida por el puente.

1.3 Diafonía

La calidad del cable desde el punto de vista de la diafonía puede caracterizarse por uno de los dos métodos equivalentes que se indican a continuación, cuya elección incumbe a las Administraciones interesadas.

1.3.1 Mediciones directas de diafonía

En un largo de fabricación de 230 metros, la diafonía entre dos circuitos reales cualesquiera deberá satisfacer las condiciones siguientes:

- la relación telediafónica deberá ser superior a 68 dB;
- la atenuación paradiafónica deberá ser superior a 56 dB.

En los cables explotados con cinco grupos primarios o dos grupos secundarios, estos valores se obtendrán hasta los 240 Hz; en los cables explotados con dos grupos primarios, los valores impuestos se obtendrán hasta los 120 kHz.

Para estas mediciones, los circuitos se terminarán en la parte real de la impedancia nominal para la frecuencia considerada.

En largos superiores a 230 metros, se deducirá de los límites anteriormente indicados

$$20 \log_{10} \frac{L}{230} \text{ dB,}$$

siendo L la longitud en metros. Los largos inferiores a 230 metros deberán cumplir las mismas condiciones que los de 230 metros.

1.3.2 Desequilibrios de capacidad e inductancias mutuas

Todas las mediciones del desequilibrio de capacidad se harán con una corriente alterna de 800 Hz. Las de impedancia mutua se harán con una corriente alterna de 5000 Hz. Todas las mediciones se harán a la temperatura ambiente sin aplicar correcciones, pero en caso de discrepancias se considerarán decisivos los resultados obtenidos a 10°C . Todos los conductores distintos de los ensayados deberán estar conectados a la cubierta del cable.

En un largo de fabricación de 230 metros, los desequilibrios de capacidad no deberán rebasar los valores indicados en el cuadro 2/G.611 ni las inductancias mutuas los indicados en el cuadro 3/G.611. Estos cuadros dan valores distintos para los cables del tipo I, por un lado, y para los de los tipos II, II bis, III y III bis, por otro.

CUADRO 2/G.611

Desequilibrios de capacidad

	Media de todas las lecturas (sin tener en cuenta los signos)		Lectura individual máxima	
	Tipo I	Tipos II, II bis, III y III bis	Tipo I	Tipos II, II bis, III y III bis
Desequilibrio de capacidad en picofaradios:				
entre pares del mismo cuadrete	33	17	125	60
entre pares de cuadretes adyacentes de una misma capa	10	5	60	25
entre pares de cuadretes no adyacentes de la misma capa	valor medio no especificado, puesto que no se miden todas las combinaciones posibles		20	10
entre pares pertenecientes a cuadretes de capas adyacentes			10	5
entre cualquier par y tierra	100	100	400	400

Nota — Los límites indicados para los valores medios no son aplicables a los cables que no contienen más de cuatro cuadretes.

CUADRO 3/G.611

Inductancias mutuas

	Media de todas las lecturas (sin tener en cuenta los signos)		Lectura individual máxima	
	Tipo I	Tipos II, II bis, III y III bis	Tipo I	Tipos II, II bis, III y III bis
Inductancias mutuas en nanohenrios:				
entre pares del mismo cuadrete	150	125	600	500
entre pares de cuadretes adyacentes de una misma capa	100	40	400	150
entre pares de cuadretes no adyacentes	50	20	350	150
entre pares pertenecientes a cuadretes de capas adyacentes	100	40	600	250

Nota — Los límites indicados para los valores medios no son aplicables a los cables que no contienen más de cuatro cuadretes.

Si se trata de largos superiores a 230 metros, se aplicarán las reglas siguientes:

Los valores medios de par a par indicados en los cuadros 2/G.611 y 3/G.611 se multiplicarán por la raíz cuadrada de la relación entre el largo considerado y 230 metros.

Todos los valores máximos, así como los valores medios entre un par y tierra, se multiplicarán por la razón entre el largo considerado y 230 metros.

Los largos inferiores a 230 metros deberán reunir las mismas condiciones que los de 230 metros.

1.4 Rigidez dieléctrica

Previo petición especial, los cables se construirán de modo que el aislamiento de un largo cualquiera pueda soportar sin ruptura una diferencia de potencial especificada en cada caso particular, que no sea superior a 2000 V (valor eficaz), aplicada durante dos segundos por lo menos entre todos los conductores en paralelo y la cubierta puesta a tierra. La prueba se hará con una corriente alterna de 50 Hz. El valor de la tensión de prueba no deberá exceder en más de 10% el valor máximo de la tensión sinusoidal que tenga el mismo valor eficaz.

La prueba podrá hacerse también con corriente continua (véase [1]). En este caso, el límite que ha de fijarse para la tensión continua es el previsto para el valor eficaz de la tensión alterna multiplicado por 1,4¹⁾.

1.5 Resistencia de aislamiento

En un largo de cable, la resistencia de aislamiento medida entre un conductor y el conjunto de los demás conductores, conectados a la cubierta y a tierra, no deberá ser inferior a $10\,000\text{ M}\Omega \times \text{km}$, siendo la diferencia de potencial empleada de 100 V como mínimo y de 500 V como máximo. La lectura se hará después de un minuto de electrización, a una temperatura de por lo menos 15 °C.

2 Especificación de una sección elemental de cable

2.1 Atenuación máxima en una sección elemental de cable

La atenuación máxima de una sección elemental de cable normal a la frecuencia más elevada transmitida en línea es de 41 dB para los sistemas de ganancia reducida de uno, dos o tres grupos primarios, y de 36 dB para los sistemas de ganancia reducida de cuatro o cinco grupos primarios o dos grupos secundarios.

2.2 Diafonía

La relación telediafónica entre circuitos en el mismo sentido, medida en las secciones elementales de cable de un sistema de portadoras en pares simétricos no cargados, terminados en sus dos extremos por impedancias iguales a su impedancia característica, no deberá ser inferior a los valores que se indican seguidamente (que tienen en cuenta la presencia eventual de redes compensadoras de telediafonía):

- 1) De emplearse el método *clásico* de equilibrado, la relación telediafónica en una sección elemental de cable de sistemas transistorizados de *ganancia reducida*, con una capacidad inferior o igual a 120 canales, establecidos en cables del tipo II o III (o análogos), o de sistemas de *ganancia reducida* que proporcionen 120 canales, establecidos en cables del tipo II *bis* o III *bis*, deberá ser de por lo menos 69,5 dB.
- 2) Si una «sección de equilibrado» consta de varias secciones elementales de cable, se obtiene un resultado equivalente partiendo de la fórmula $69,5 - 10 \log_{10} n$ (dB), en la que n representa el número de secciones elementales de cable comprendidas en una sección de equilibrado.

2.3 Regularidad de la impedancia

La impedancia de cualquier circuito en una sección elemental de cable que forme parte de un sistema de portadoras en pares simétricos no cargados estará comprendida, con relación a su valor nominal, entre los siguientes límites:

- ± 5% (valor medido a 60 kHz) si se trata de una sección elemental de cable que forma parte de un sistema de 12 canales;
- ± 8% (valor medido a 108 kHz) si se trata de una sección elemental de cable que forma parte de un sistema de 24 canales;
- ± 8% (valor medido a 120 kHz) si se trata de una sección elemental de cable que forma parte de un sistema de 36 ó 48 canales;
- ± 8% (valor medido a 240 kHz) si se trata de una sección elemental de cable que forma parte de un sistema de 60 canales;
- ± 8% (valor medido a 552 kHz) si se trata de una sección elemental de cable que forma parte de un sistema de 120 canales.

¹⁾ En [2], el CCITT no recomienda ninguna fórmula de aplicación general para las mediciones en el caso de dieléctricos mixtos. No obstante, para las mediciones en cables telefónicos, el CCITT recomienda aplicar el factor 1,4, que es representativo de la práctica comercial corriente.

2.4 Rigidez dieléctrica

Para comprobar la rigidez dieléctrica de una sección elemental de cable una vez terminado el tendido, se aplicará al cable una tensión continua, igual al valor fijado para el valor eficaz de la tensión alterna de prueba en el caso de mediciones de recepción en fábrica de largos de fabricación (véase el § 1.4).

2.5 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento medida en el extremo del cable, sin que intervenga el cableado interno de la estación de repetidores, entre un conductor cualquiera, por un lado, y todos los demás conductores reunidos, conectados a la cubierta y a tierra, por otro, no deberá ser inferior a $10\,000\text{ M}\Omega \times \text{km}$, midiéndose esta resistencia de aislamiento con una diferencia de potencial de 100 V, como mínimo, y de 500 V como máximo. Las lecturas se harán después de un minuto de electrización.

Referencias

- [1] *Dielectric strength tests*, Libro Azul, Tomo III, parte 4, anexo 19, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1965.
- [2] *Ibid.*, § 4.

Recomendación G.612

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE PARES SIMÉTRICOS CONCEBIDOS PARA LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES DE VELOCIDAD BINARIA DEL ORDEN DE 6 A 34 Mbit/s

(Ginebra, 1976; modificada en Ginebra, 1980)

1 Introducción

La presente Recomendación se refiere a los cables de pares simétricos concebidos con miras a su empleo para la transmisión de señales de velocidad binaria del orden de 6 a 34 Mbit/s, sin que se excluya la posibilidad de transmitir a otras velocidades binarias menores o mayores adaptando convenientemente la longitud de las secciones de regeneración. De esta forma, tales pares pueden también transmitir, en la mayoría de los casos, señales de videoteléfono o de televisión en la banda de base.

Estos cables se clasifican en dos categorías, según que para los dos sentidos de transmisión sea o no necesario utilizar dos cables diferentes.

2 Parámetros que deben medirse

Los parámetros que, a los efectos de la transmisión de señales digitales deben medirse, empleando métodos especiales o a frecuencias distintas de las indicadas en la Recomendación G.611, son la impedancia característica, la atenuación por unidad de longitud y la telediafonía entre los pares utilizados en el mismo sentido de transmisión. Además, en el caso en que la transmisión en los dos sentidos se efectúa en el mismo cable, conviene medir también la paradiafonía entre los pares utilizados en sentidos de transmisión diferentes.

2.1 Impedancia característica

La impedancia característica puede medirse:

- en régimen sinusoidal, en cuyo caso el par probado deberá terminarse con una impedancia constantemente igual a la medida por el puente, excepto si la longitud del par es suficiente para que el resultado de la medición sea independiente de la impedancia de terminación; o bien,
- mediante un ecómetro de impulsos¹⁾, en cuyo caso deberá compensarse la impedancia del par probado con la de una red equilibradora ajustable cuya graduación indicará el valor de la impedancia. El par probado deberá estar terminado por una red idéntica.

¹⁾ Método similar al utilizado para los pares coaxiales, pero con una cabeza de medición y redes simétricas. La duración del impulso utilizado es de 100 ns; la curva de eco no está corregida.

2.2 Atenuación por unidad de longitud

El valor de la atenuación por kilómetro de los pares se deriva del valor de la atenuación de una sección elemental de cable, habida cuenta de la tolerancia admitida en la longitud de dichas secciones.

Nota – Si se efectúa la medición en bucle, es necesario asegurarse de que la atenuación paradiafónica entre los extremos del circuito probado sea suficiente.

2.3 Diafonía

La diafonía puede especificarse ya sea en régimen sinusoidal, a una frecuencia cercana a la semifrecuencia de temporización del sistema considerado, ya en régimen digital²⁾.

2.3.1 Medición de la telediafonía

Las mediciones de telediafonía se efectúan entre los pares asignados a un mismo sentido de transmisión, a una frecuencia superior a 100 kHz aproximadamente. Si esta frecuencia no es la semifrecuencia de temporización del sistema, el valor, que ha de especificarse se corregirá mediante el factor $20 \log_{10} f^3)$.

2.3.2 Medición de la paradiafonía

Si se prevé la transmisión en ambos sentidos por el mismo cable, las mediciones de paradiafonía se efectúan en un largo de fabricación, ya sea en régimen sinusoidal, ya en régimen digital, entre pares asignados a sentidos opuestos de transmisión.

3 Descripción de los pares y de los cables

Las Administraciones que desean utilizar los cables de pares simétricos para la transmisión de sistemas digitales de velocidad binaria del orden de 6 a 34 Mbit/s deben, en la medida de lo posible, elegir uno de los tipos de cable descritos en los § 3.1 y 3.2:

3.1 Cable concebido para ser utilizado a base de un cable para un solo sentido de transmisión

3.1.1 Las características básicas de los pares se indican en el cuadro 1/G.612.

3.1.2 Las características del cable construido con estos pares se indican en el cuadro 2/G.612.

3.2 Cables concebidos para disponer de los dos sentidos de transmisión en el mismo cable

En los cuadros 3/G.612 y 4/G.612 se indican las características de los pares utilizados en cables de pares y de cuadretes respectivamente.

Estos cables están constituidos por haces protegidos por uno o varios blindajes de cobre o de aluminio; los pares de un mismo haz están asignados a un mismo sentido de transmisión. Por esta razón, los valores de paradiafonía sólo se refieren a los pares que pertenecen a haces diferentes.

Nota 1 – Para que sea homogénea la presentación de los cuadros 3/G.612 y 4/G.612, los valores de las impedancias características se dan a 1 MHz (parte real de Z_1). La relación entre la impedancia $Z_1 = X_1 - jY_1$ a 1 MHz y la impedancia $Z_f = X_f - jY_f$ a f MHz es

$$X_f = X_1 - Y_1 + Y_1/\sqrt{f} \text{ e } Y_f = Y_1/\sqrt{f}$$

La diferencia entre el valor de la parte real de la impedancia a 1 MHz y su valor a 4 MHz está comprendida entre 2 y 3 Ω . A 1 MHz, la parte imaginaria de la impedancia está comprendida entre 4 y 6 Ω ; para frecuencias superiores a unos 0,3 MHz su variación es proporcional a la inversa de la raíz cuadrada de la frecuencia.

Nota 2 – Por la misma razón indicada en la observación 1, el valor de atenuación se da a 1 MHz. A la frecuencia f MHz ($f > 1$) la atenuación α_f está ligada a la atenuación α_1 a 1 MHz por la relación $\alpha_f = \alpha_1 \sqrt{f}$.

Nota 3 – Si la longitud L del cable objeto de prueba es diferente de 1000 metros, el valor de telediafonía se lleva a una longitud de 1000 metros mediante una corrección de $10 \log_{10} L$. Los valores de diafonía indicados son los valores mínimos extremos suficientes para la especificación de sistemas. Cuando no se cumple una de las dos condiciones indicadas más arriba, el valor correspondiente aparece entre paréntesis.

²⁾ El método en régimen digital se expone en el suplemento N.º 19 al final del presente fascículo.

³⁾ En los cables de cuadretes en estrella de pares simétricos, se utiliza la ley de corrección en $20 \log_{10} f$ para pares del mismo cuadrete hasta cierta frecuencia característica. Por encima de esta frecuencia debe utilizarse la ley $40 \log_{10} f$.

CUADRO 1/G.612

Características del par	Cable del tipo I
Diámetro de los conductores (mm)	0,64
Capacidad mutua media de los pares (nF/km)	24,2
Impedancia característica (Ω) ^{a)}	178
Atenuación por unidad de longitud a 24 °C (dB/km) ^{a)}	13,5

a) La atenuación por unidad de longitud y la impedancia característica se miden a 3150 kHz.

CUADRO 2/G.612

	Conjunto 1 ^{a)}	Conjunto 2 ^{a)}
Impedancia característica nominal Z_0 (Ω) (valor medio deseado a 3150 kHz)	178	
Atenuación y diafonía		
Atenuación a 3150 kHz a 24 °C (dB/km)		
mínima de un par	11,8	11,8
máxima de un par	14,35	14,6
Atenuación de telediafonía a 3150 kHz en dB, para una longitud de 300 m (1000 pies)		
suma de potencia mínima de un par	37,5	39,0
mínima de par a par (punto del 0,1%)	40,5	40,5
Resistencia en continua a 24 °C (Ω /km)		
máxima de un conductor	56,8	
valor medio deseado	54,5	
Capacidad mutua media del cable (nF/km)		
máxima	25,4	
mínima	23,0	
valor medio deseado	24,2	
valor eficaz de la desviación típica (σ) de los pares de un cable (%)	≤ 7	
Desequilibrio de la capacidad con relación a la tierra (pF/km)		
máximo de un par	≤ 443	
medio del cable	≤ 164	
Rigidez dieléctrica en continua		
entre conductores para cubierta ARPAP ^{b)}	$\geq 1\ 500$ V (aplicados durante 1 s)	
del núcleo y capa interior en aluminio al blindaje	$\geq 20\ 000$ V (aplicados durante 3 s)	
del núcleo a la capa interior de aluminio y al blindaje	$\geq 5\ 000$ V (aplicados durante 3 s)	

a) Se indican dos conjuntos de valores para la atenuación y la telediafonía. El cable corresponderá a uno u otro de estos conjuntos, atribuyendo así al cable una atenuación menor, cumpliendo con unas exigencias sobre diafonía menos estrictas.

b) Aluminio-resina-polietileno-aluminio-polietileno.

CUADRO 3/G.612

Cables de pares

Características		Tipo de cable				
		I	II	III	IV	V
Impedancia característica nominal Z_0 a 1 MHz (en Ω)		160	160	140	120	145
Telediafonía (Valores mínimos referidos a 1000 m) (dB)	1 MHz	43 ^{a)}	43 ^{a)}	40	56	64
	4 MHz				44	52
	17 MHz				31	40
Paradiafonía de 1 a 17 MHz (Valores mínimos) (dB)		119	119	98	116	125
Atenuación nominal por unidad de longitud a 1 MHz ^{b)} (dB/km a 10 °C)		7,0	9,3	10,5	9,5	5,2
Capacidad nominal (nF/km)		28,5	28,5	31,5	38	30
Diámetro de los conductores (mm)		0,8	0,6	0,65	0,9	1,2

a) Las mediciones de telediafonía en las secciones elementales de cable, para los pares de este tipo se efectúan en régimen digital solamente (véase el suplemento N.º 19). El valor máximo especificado es 30 mV.

b) Los valores reales deben permitir satisfacer las condiciones requeridas para una sección elemental de cable (tipo I: 56 ± 2 dB a 4,2 MHz y 10 °C para 4 km; tipo II: 56 ± 2 dB a 4,2 MHz y 10 °C para 3 km; tipo III: inferior a 55 dB a 3,15 MHz para 2,8 km).

CUADRO 4/G.612

Cables de cuadretes

Características			Tipo de cable	
			I	II
Impedancia característica nominal Z_0 a 1 MHz (en Ω)			165	120
Telediafonía (Valores mínimos referidos a 1000 m) (dB)	Cuadretes diferentes	1 MHz 4 MHz 13 MHz 17 MHz	46 34 31	56 44 31
	El mismo cuadrete	1 MHz 4 MHz 13 MHz 17 MHz	(45) (25) (21) } ^{a)}	46 34 ○
Paradiafonía, de 1 a 17 MHz (valores mínimos) (dB)			125 ^{b)}	116
Atenuación nominal por unidad de longitud a 1 MHz (dB/km a 10 °C)			8,8	9,5
Capacidad nominal (nF/km)			28	38
Diámetro de los conductores (mm)			0,65	0,9

a) Para permitir la transmisión a 34 Mbit/s por cada par de un cuadrete en estrella se aplica un método de equilibrado en las secciones elementales de cable de 2 km, mediante cruces sistemáticos cada 500 m, lo que mejora los valores de telediafonía en, por lo menos, 15 dB. Los valores indicados en esta casilla corresponden, por tanto, a 500 m de cable.

b) El valor debe ser superior a 130 dB en el 99% de los casos.

○ La transmisión de 34 Mbit/s por cada par de un cuadrete en estrella se halla en estudio.

**CARACTERÍSTICAS DE LOS PARES SIMÉTRICOS EN CABLE
QUE PUEDEN UTILIZARSE EN SU TOTALIDAD PARA LA
TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE SISTEMAS DIGITALES
A VELOCIDADES BINARIAS DE HASTA 2 Mbit/s**

(Málaga-Torremolinos, 1984)

1 Preámbulo

Las cláusulas de esta Recomendación se refieren a cables concebidos para la transmisión de señales de sistemas digitales normalizados (Recomendaciones de la serie G.900); no obstante, estos cables pueden utilizarse también para la transmisión de señales digitales de velocidades binarias más bajas, y de señales de frecuencias vocales. Los cables descritos en esta Recomendación encaminan las señales simultáneamente en los dos sentidos de transmisión. Esta Recomendación es aplicable a cables cuya concepción permite la explotación en transmisión digital de la totalidad de los circuitos del cable. Sin embargo, algunas de sus cláusulas podrían utilizarse para determinar las posibilidades de utilización en digital (en parte o en su totalidad) de los cables existentes.

2 Parámetros que deben medirse

2.1 Resistencia en corriente continua

Para llevar a 20 °C el valor R_t de la resistencia en corriente continua medida a t °C, se utiliza la fórmula:

$$R_{20} = R_t / (1 + 0,004 (t - 20))$$

2.2 Capacidad por unidad de longitud

Se mide a 800 Hz ó 1000 Hz.

2.3 Atenuación por unidad de longitud

El valor de la atenuación por unidad de longitud se obtiene o bien por un método de medición directa de la atenuación, o por cálculo a partir de la capacidad mutua y de la resistencia en corriente continua del par. La atenuación por unidad de longitud (α_0) se mide a una sola frecuencia f_0 próxima a la semifrecuencia de ritmo.

Sistema	Recomendación	f_0
a 1544 kbit/s	G.951	772 kHz
a 2048 kbit/s	G.952	1 MHz

Para los cables con aislamiento de poliolefina, el valor de la atenuación por unidad de longitud a la frecuencia f (para un valor de f superior a algunos cientos de kHz) está asociado a α_0 por la relación

$$\alpha_f = \alpha_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}}$$

El valor de la atenuación por unidad de longitud a t °C se lleva a 20 °C por la fórmula:

$$\alpha_{20} = \alpha_t / (1 + 0,002 (t - 20))$$

2.4 Impedancia característica

2.4.1 Medición ecométrica

Para medir la impedancia característica con un ecómetro de impulsos, es necesario compensar la impedancia del par medido; para ésto se utiliza un equilibrador calibrado ajustable por pasos de $0,5 \Omega$ aproximadamente. La duración del impulso será igual o inferior a 500 ns. Este método, rápido y sencillo, permite una lectura directa, en la escala del equilibrador, del valor de la impedancia de extremo del par medido.

2.4.2 Medición en régimen sinusoidal

En este caso, el par medido se terminará por una impedancia que será constantemente igual a la medida por el puente, salvo si su longitud es suficiente para que el resultado de la medición sea independiente de la impedancia de terminación (caso de secciones elementales de cable).

2.5 Diafonía

La diafonía puede medirse sea en régimen sinusoidal, sea en régimen digital. La asignación de los pares a los sentidos de transmisión depende de la estructura y del modo de fabricación del cable considerado.

2.5.1 Medición en régimen sinusoidal

2.5.1.1 Telediafonía

Las mediciones se efectúan entre pares asignados para un mismo sentido de transmisión, a la frecuencia f_0 . Si la frecuencia a la que se mide no es la semifrecuencia de ritmo, el valor será corregido de acuerdo con una ley de $20 \log_{10} f$. Cuando la medición se efectúa en un par de longitud L , diferente de la longitud de referencia especificada L_0 , el valor medido se corregirá aplicando una ley de $\sqrt{L/L_0}$ cuando este valor se expresa en mV, o de $10 \log_{10} \frac{L}{L_0}$ cuando este valor se expresa en dB.

2.5.1.2 Paradiafonía

Las mediciones se efectúan entre pares asignados a la transmisión en sentido opuesto, a una frecuencia próxima a la mitad de la frecuencia de ritmo del sistema.

2.5.2 Medición en régimen digital

Las mediciones en régimen digital permiten una estimación del ruido global en una sección elemental teniendo en cuenta tanto la paradiafonía como la telediafonía. Esta estimación puede efectuarse a partir de los valores medidos separadamente de paradiafonía y de telediafonía, sea en largo de fabricación o en sección elemental¹⁾. Estas mediciones pueden efectuarse en fábrica o sobre un cable instalado.

2.5.2.1 Telediafonía

La medición se efectúa entre pares *asignados* a la transmisión en el mismo sentido. Cuando la medición se efectúa en un par de longitud L , diferente de la longitud de referencia especificada L_0 , el valor medido se corregirá aplicando una ley de $\sqrt{L/L_0}$ cuando este valor se expresa en mV, o de $10 \log_{10} (L/L_0)$ cuando se expresa en dB.

2.5.2.2 Paradiafonía

La medición se efectúa entre pares *asignados* a la transmisión en sentido opuesto.

3 Características de los circuitos

El cuadro 1/G.613 indica las características de los circuitos.

4 Características de las secciones de cables conectados

El cuadro 2/G.613 indica las características de las secciones de cables conectados.

¹⁾ Una ventaja de las mediciones en régimen digital es que permite obtener una medida global directa del ruido total en sección elemental, si se dispone de un número suficiente de generadores.

CUADRO 1/G.613

Características de los circuitos *

Características		Tipo del cable				
		Tipo I	Tipo II	Tipo II <i>bis</i>	Tipo III <i>****</i>	f)
Velocidad binaria en explotación (kbit/s)		2048	2048	2048	2048	
Ganancia de los repetidores **		34 dB				
Elementos constitutivos del cable		Cuadrete en estrella	Pares	Pares	Pares	
Diámetro nominal de los conductores (mm)		0,8	0,7	1	0,6	
Impedancia nominal *** a f_0 MHz (Ω)	1 MHz	100	130	130		
	772 kHz					
Atenuación nominal por unidad de longitud a f_0 y 20 °C *** (dB/km)	1 MHz	16	11,5 b)	8,5 b)	15,5	
	772 kHz					
Diafonía en régimen digital	a)	c)	-	-	-	
Tensión de ruido total (valor máximo)	a)					
Paradiafonía min. (mV)	a)	-	60 d), g)	60 d), g)		
	a)					
Telediafonía min. (mV)	a)	-	47 e), g)	45 e), g)		
	a)					
Diafonía en régimen sinusoidal	Paradiafonía (dB)	1 MHz			78 ± 3 h)	
		772 kHz				
	Telediafonía (dB)	1 MHz			64 ± 3 h)	
		772 kHz				
Resistencia nominal en continua a 20 °C (Ω /km)		68,6	94,1 b)	46,1 b)	63	
Capacidad mutua nominal (nF/km)		50	39	39	44	

Notas al Cuadro 1/G.613

* Los valores se indican actualmente a título de ejemplo.

** Valor de referencia para los datos numéricos del cable considerado.

*** Más adelante se indicará una desviación típica o márgenes de tolerancia.

**** Cable de apantallado diametral que separa los cables afectados en los dos sentidos de la transmisión.

- a) Debe precisarse.
- b) Valor máximo.
- c) El valor de la especificación para los controles en fábrica está calculado de modo que se respeten las características del cable conectado.
- d) Entre pares de haces diferentes.
- e) Entre pares pertenecientes al mismo haz.
- f) Se llenarán otras columnas con los datos suministrados por las Administraciones.
- g) Valores indicados en dB.
- h) El valor indicado aquí, depende de la composición del cable. Se trata de la media redondeada por abajo de una desviación típica de la producción total, y no es, por tanto, una especificación de longitud individual del cable.

CUADRO 2/G.613

Características de las secciones de cables conectadas *

Características		Tipo del cable				
		Tipo I	Tipo II	Tipo II bis	Tipo III	a)
Régimen binario en explotación (kbit/s)		2048	2048	2048		
Impedancia nominal a f_0 MHz (Ω)	1 MHz	100	130	130		
	772 kHz					
Atenuación nominal por unidad de longitud a f_0 y 20 °C (dB/km)	1 MHz	16	11,5	8,5		
	772 kHz					
Diafonía en régimen digital Tensión de ruido total (valor máximo)	b)	40 mV				
	b)					
Paradiafonía min. (mV)	b)					
	b)					
Telediafonía min. (mV)	b)					
	b)					
Diafonía en régimen sinusoidal	Paradiafonía (dB)	1 MHz				
		772 kHz				
	Telediafonía (dB)	1 MHz				
		772 kHz				

* Los valores se indican actualmente a título de ejemplo.

a) Se llenarán otras columnas con los datos suministrados por las Administraciones.

b) Deberá precisarse.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE CUADRETES EN ESTRELLA DE PARES SIMÉTRICOS
CONCEBIDOS PARA ANTERIORES SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ANALÓGICOS Y
ACTUALMENTE UTILIZADOS PARA LA TRANSMISIÓN DE SISTEMAS
DIGITALES A VELOCIDADES BINARIAS DE 6 A 34 Mbit/s

(Melbourne, 1988)

1 Introducción

La presente Recomendación trata de los cables de cuadretes en estrella de pares simétricos concebidos y utilizados para transmisión de sistemas analógicos de 60 ó 120 canales telefónicos de portadoras en cada par. Tras la reconstrucción de la línea, estos cables se utilizan para la transmisión de sistemas digitales a velocidades binarias de 6 a 34 Mbit/s. Los cables en cuestión no tienen pares apantallados ni cuadretes.

Para sistemas de transmisión digitales de velocidad binaria de 8 Mbit/s puede utilizarse explotación monocable o bicable. Para sistemas de velocidad binaria de 34 Mbit/s se utiliza sólo explotación bicable.

Para sistemas de transmisión digitales pueden utilizarse varios o todos los pares del cable.

2 Parámetros que han de medirse

Deben medirse todos los parámetros especificados en la Recomendación G.612, a saber, impedancia característica, atenuación por unidad de longitud, telediafonía entre pares en el mismo sentido de transmisión y paradiafonía entre pares de dos cables diferentes destinados a sentidos diferentes de transmisión. Si el cable está destinado a su utilización en ambos sentidos de transmisión, es también necesario medir la paradiafonía entre pares destinados a diferentes sentidos de transmisión.

2.1 Impedancia característica

La impedancia característica se mide según el § 2.1 de la Recomendación G.612.

2.2 Atenuación por unidad de longitud

La atenuación por unidad de longitud se mide según el § 2.2 de la Recomendación G.612.

2.3 Diafonía

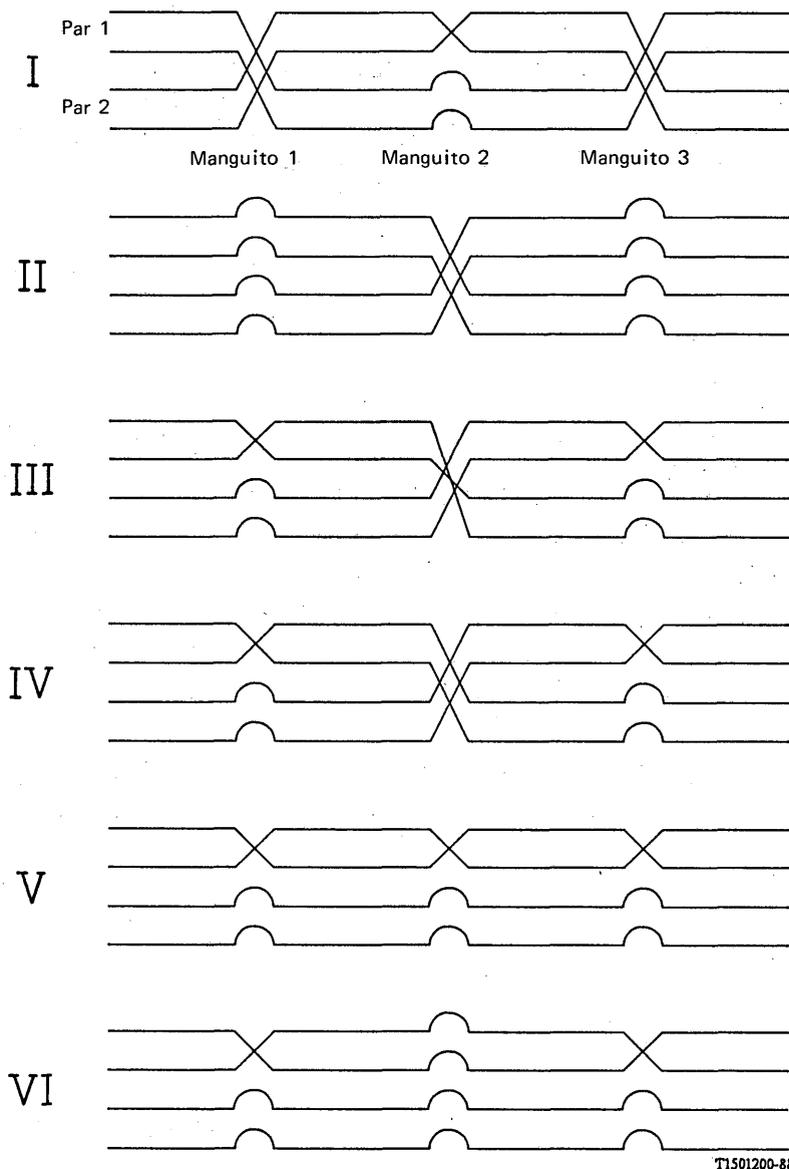
Se especifica la diafonía en modo sinusoidal a una frecuencia próxima a la frecuencia de temporización mitad del sistema digital y/o a otras frecuencias. Puede también utilizarse el modo digital de medición.

2.3.1 Medición de la telediafonía entre pares de cuadretes diferentes

La medición de la telediafonía se efectúa en pares utilizados en el mismo sentido de transmisión a una frecuencia superior a 0,1 MHz aproximadamente cuando la longitud del cable es L . Si la frecuencia de las mediciones no coincide con la frecuencia de temporización mitad del sistema de transmisión digital, el valor medio se corregirá por el factor de $20 \log_{10} f$. Los valores se corrigen con respecto a la longitud de 1000 m por el factor $10 \log_{10} L$.

2.3.2 Medición de la telediafonía entre pares del mismo cuadrete

Esta medición se efectúa para un largo de cable igual a la máxima longitud admisible de la sección de regeneración de un sistema de transmisión digital con velocidades binarias de 6 a 34 Mbit/s a una frecuencia superior a 1,0 MHz aproximadamente (la medición se efectúa separadamente para cada velocidad de sistema de transmisión digital) con compensación de la componente de diafonía sistemática en el mismo cuadrete. La compensación de la componente de diafonía sistemática se efectúa por uno de los esquemas de transposición (véase la figura 1/G.614), que son prácticamente equivalentes. Cuando las secciones de regeneración son de menor longitud, estos métodos de descomponer las secciones elementales de cable en partes separadas y de transposición en cuadrete proporcionan valores de la telediafonía entre pares mayores que los obtenidos cuando las mediciones se efectúan para la longitud máxima de la sección de regeneración.



T1501200-88

Nota 1 – El esquema de transposición N.º 1 ha sido propuesto por la Administración neerlandesa en 1978 (véase COM XV-135, período 1977-1980).

Nota 2 – El esquema de transposición N.º 2 ha sido propuesto por la Administración de la RDA.

Nota 3 – Los esquemas de transposición N.ºs 3, 4, 5 y 6 son propuestos por la Administración de la URSS.

FIGURA 1/G.614

2.3.3 Medición de la paradiafonía entre pares del mismo cable o de cables diferentes destinados a diferentes sentidos de transmisión

Esta medición se efectúa entre pares del mismo cable (cuando se usa explotación monocable) o bien entre pares de dos cables diferentes destinados a diferentes sentidos de transmisión (cuando se usa explotación bicable). Las mediciones se efectúan en modo sinusoidal y en modo digital.

3 Especificación de los cables

Se recomienda a las Administraciones que han decidido utilizar, en explotación digital a velocidades binarias de 6 a 34 Mbit/s, cables diseñados anteriormente y utilizados con sistemas de portadoras analógicas de hasta 120 canales, que elijan cables de las características indicadas en los cuadros 1/G.614 y 2/G.614.

3.1 Cables utilizados para sistemas de transmisión digital con velocidades binarias de 6 a 8 Mbit/s en explotación monocable

Véase el cuadro 1/G.614.

CUADRO 1/G.614

Características	Requisitos		
	I (Nota 1)	II (Nota 1)	III (Nota 1)
Tipo de cable			
Velocidad binaria de explotación C, kbit/s	8448	8448	8448
Código de línea	HDB-3	HDB-3	HDB-3
Velocidad de modulación, kbaud/s	8448	8448	8448
Atenuación admisible de la sección de regeneración a una frecuencia C/2 cuando se usa el máximo número de pares de cable y los sentidos de transmisión se establecen por cuadretes diferentes (valor máximo admisible) (dB)	23	23	45 (Nota 3)
Diámetro del conductor de cobre, mm	1,2	1,2	1,3
Anterior gama operativa del cable	HF	HF	AF, HF
Tipo de aislamiento	PI	PI	PI, P
Número de cuadretes en estrella	4	7 (Nota 2)	3, 4, 8
Impedancia característica a 1 MHz, ohmios	165	165	170
Capacidad nominal, nF/km	24,5	24,5	21,0
Atenuación por unidad de longitud (dB/km) a 10 °C			
– a 1 MHz	4,8	4,5	3,7
– a la frecuencia C/2	10,6	9,7	8,0
Paradiafonía a la frecuencia C/2, dB			
– valor medio	48	50	50
– valor mínimo	34	34	44
Telediafonía entre pares de cuadretes diferentes (valor mínimo referido a 1000 m), dB			
– a 1 MHz	54	54	60
– a la frecuencia C/2	42	42	48
Telediafonía entre pares del mismo cuadrete (valor mínimo en la sección de regeneración de longitud máxima), dB			
– a 1 MHz	60	60	60
– a la frecuencia C/2	43	43	48

Nota 1 – Estas características corresponden a cables con revestimiento de aluminio.

Nota 2 – El cuadrete central no se utiliza para la transmisión del sistema digital.

Nota 3 – Los regeneradores de dirección de transmisión B-A están instalados en el punto medio de la sección de la dirección opuesta A-B.

HF alta frecuencia

AF audiofrecuencia

PI poliestireno

P papel

3.2 Cables utilizados para sistemas de transmisión digital con velocidades binarias de 6 a 34 Mbit/s en explotación bicable

Véase el cuadro 2/G.614.

CUADRO 2/G.614

Características	Requisitos		
	I (Nota 1)	II (Nota 1)	III (Nota 1)
Tipo de cable			
Velocidad binaria de explotación C, kbit/s	8448	34 368	34 368
Código de línea	HDB-3	5B6B	5B6B
Velocidad de modulación, kbaud/s	8448	41 242	41 242
Atenuación de la sección de regeneración a la frecuencia C/2 cuando se usan todos los pares del cable (valor máximo admisible), dB	70	85	85
Diámetro del conductor de cobre, mm	1,2	1,2	1,3
Número de cuadretes en estrella	4	4	3, 4, 8
Impedancia característica a 1 MHz, ohmios	165	165	170
Capacidad nominal, nF/km	24,5	24,5	21,0
Atenuación por unidad de longitud, dB/km a 10 °C			
– a 1 MHz	4,8	4,8	3,7
– a la frecuencia C/2	10,6	24,0	17,0
Telediafonía entre pares de cuadretes diferentes (valor mínimo referido a 1000 m), dB			
– a 1 MHz	54	51	60
– a 4 MHz	42	42	48
– a 12 MHz	–	32	30
– a 17 MHz	–	30	26
Telediafonía entre pares del mismo cuadrete (valor mínimo en una sección de regeneración de longitud máxima), dB			
– a 1 MHz	42	–	60 (Nota 3)
– a 4 MHz	30	33 (Nota 2)	48 (Nota 3)
– a 12 MHz	–	17 (Nota 2)	27 (Nota 3)
– a 17 MHz	–	13 (Nota 2)	17 (Nota 3)

Nota 1 – Estas características corresponden a cables con revestimiento de aluminio.

Nota 2 – Estos valores se obtienen por medio del esquema de transposición N.º 5 (véase la figura 1/G.614) para cuatro largos de cable (0,825 km).

Nota 3 – Estos valores se obtienen por medio del esquema de transposición N.º 2 (véase la figura 1/G.614).

6.2 Cables terrestres de pares coaxiales

Los pares coaxiales especificados en las Recomendaciones de esta sección 6.2 que siguen pueden utilizarse con sistemas de transmisión de tipos diferentes. A continuación se indican las posibilidades de empleo de los diversos pares.

CUADRO 1

Cables para sistemas analógicos

Denominación de los tipos de sistemas (MHz)	Banda de frecuencias usualmente utilizada (MHz)	Tipos de pares coaxiales que pudieran utilizarse (mm)
1,3	0,06 a 1,3	1,2/4,4
4 ó 6	0,06 a 6	1,2/4,4 2,6/9,5
12 ó 18	0,3 a 12 ó 18	1,2/4,4 2,6/9,5
60	4 a 60	2,6/9,5

CUADRO 2

Cables para sistemas digitales

Denominación propuesta de los tipos de sistemas	Anchura de banda posible (MHz)	Ejemplo típico de velocidad del sistema (Mbit/s)	Tipos de pares coaxiales que pudieran utilizarse (mm)
Velocidad media	8,5	8	0,7/2,9
	35	34	0,7/2,9 1,2/4,4
Alta velocidad	100	140	1,2/4,4 ^{a)} 2,6/9,5
Muy alta velocidad	700	565	2,6/9,5

^{a)} En el caso de los sistemas de alta velocidad podrían utilizarse sistemas mixtos, es decir, con varios repetidores de tipo analógico entre cada repetidor regenerativo; en tal caso, puede que se reduzca (por ejemplo, 35 MHz) la anchura de banda efectiva.

Recomendación G.621

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE PARES COAXIALES DE 0,7/2,9 mm

(Ginebra, 1976; modificada en Ginebra, 1980)

Las Administraciones que decidan utilizar para transmisiones digitales, y eventualmente para transmisiones analógicas de tipo particular, pares coaxiales más pequeños que el de 1,2/4,4 mm, deberán elegir los pares, en la medida de lo posible, con arreglo a las indicaciones de la presente Recomendación. El empleo de estos pares se indica en los cuadros 1 y 2 que figuran en la introducción a la subsección 6.2 de las Recomendaciones de la serie G.

1 Características del par

1.1 Características eléctricas del par coaxial

1.1.1 Impedancia característica

El valor nominal de la parte real de la impedancia característica a 1 MHz deberá ser de 75 Ω .

El valor medio de la parte real de la impedancia de un par coaxial a 1 MHz no debe diferir del valor nominal en más de $\pm 2,5 \Omega$.

El cuadro 1/G.621 muestra, de manera general, la variación de la impedancia en función de la frecuencia.

CUADRO 1/G.621

Valor medio de la parte real de la impedancia medida a varias frecuencias

Frecuencia (MHz)	0,2	0,5	1	2	5	10	20	∞
Impedancia (Ω)	77,7	75,9	75	74,2	73,4	73	72,8	72,2

1.1.2 Atenuación por unidad de longitud

El valor nominal de la atenuación por unidad de longitud a 10 °C y a 1 MHz es de 8,9 dB/km.

El cuadro 2/G.621 muestra, de manera general, la variación de la atenuación por unidad de longitud en función de la frecuencia a la temperatura de 10 °C.

CUADRO 2/G.621

Valor medio de la atenuación por unidad de longitud a diferentes frecuencias

Frecuencia (MHz)	0,2	0,5	1	2	5	10	20
Atenuación por unidad de longitud (dB/km)	4,5	6,5	8,9	12,6	19,8	28,0	39,6

1.2 Construcción mecánica del par coaxial

La constitución del par coaxial es la siguiente:

- valor nominal del diámetro del conductor interior, de hilo de cobre macizo: 0,7 mm;
- valor nominal del diámetro interior del conductor exterior: 2,9 mm;

- c) conductor exterior formado por una cinta de cobre de 0,1 mm aproximadamente de espesor aplicada longitudinalmente con superposición¹⁾;
- d) pantalla formada por una cinta de acero de 0,1 mm aproximadamente de espesor aplicada longitudinalmente con superposición¹⁾.

2 Especificación del cable (largos de fabricación de unos 500 m)

2.1 Impedancia característica

Para comprobar que se respeta el valor indicado en el § 1.1.1, se pueden efectuar mediciones por medio de impulsos. Se considera como «valor medio de la parte real de la impedancia a 1 MHz» la componente resistiva de la impedancia a 1 MHz de la red con la que se haya conseguido el mejor equilibrado del par coaxial medido.

2.2 Regularidad de impedancia

Las mediciones de control corriente de la regularidad de impedancia se efectúan por medio de ecómetros de impulsos, desde uno o ambos extremos de los largos de fabricación. La curva de eco debe trazarse con corrección en amplitud y, si es posible, en amplitud y en fase.

En el cuadro 3/G.621 se indican los diversos valores que han de obtenerse según el uso al que se destina el cable.

CUADRO 3/G.621

Medición ecométrica de los largos de fabricación^{a)}

Tipo del sistema		Digital	
Velocidad		Velocidad media (6 a 34 Mbit/s)	
Duración máxima del impulso		100 ns	
Cláusulas generales	Cresta máxima	100%	36 dB
		95%	39 dB
Cláusulas facultativas complementarias ^{a)}	A	Media de las tres crestas de mayor amplitud	39 dB
	B	Error de resistencia equivalente	

^{a)} Basta comprobar que se cumple una de las dos condiciones A o B.

Nota 1 – En el cuadro, los porcentajes indicados se refieren al conjunto de los pares de un lote de cables presentados simultáneamente al control o que serán objeto de una misma entrega.

Nota 2 – Con las técnicas de construcción utilizadas hasta el presente, las irregularidades sistemáticas no dan lugar a crestas de reflexión a frecuencias inferiores a 60 MHz, durante las mediciones en régimen permanente de la pérdida de retorno por irregularidades, por esta razón, habida cuenta de la velocidad binaria de funcionamiento prevista, no parece necesaria una medición de este tipo. Para otros posibles tipos de construcción, que pudieran utilizarse en el futuro, podría ser conveniente el control de la pérdida de retorno por irregularidades; en este caso debería obtenerse un valor de 20 dB a frecuencias de 4 a 60 MHz.

2.3 Atenuación por unidad de longitud

La atenuación de los pares respetará las condiciones especificadas en el § 3.3²⁾.

¹⁾ La función del conductor exterior y de la pantalla pueden estar incorporadas en una sola cinta bimetálica de cobre-acero-cobre.

²⁾ Las mediciones de atenuación en esta fase de la fabricación son sólo mediciones de prototipo.

2.4 Atenuación paradiafónica

La atenuación paradiafónica entre pares coaxiales, utilizados para sentidos de transmisión diferentes, medida en la banda de frecuencias de 0,5 a 20 MHz en largos de fabricación, debe ser superior a 135 dB para el 100% de las mediciones.

2.5 Rigidez dieléctrica

El par debe poder soportar una tensión alterna de 1000 V, valor eficaz, a 50 Hz (o una tensión continua de 1500 V) aplicada durante un minuto por lo menos entre el conductor interior y el conductor exterior.

Si en servicio normal los conductores exteriores de los pares coaxiales no tienen que ponerse a tierra, deberá realizarse una prueba de la rigidez dieléctrica entre los conductores exteriores y la cubierta metálica puesta a tierra. Se aplicará, en estas condiciones, una tensión alterna de al menos 2000 V, valor eficaz, a 50 Hz, o una tensión continua superior o igual a 3000 V.

2.6 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento entre los conductores interior y exterior del par coaxial, medida con una tensión perfectamente estable comprendida entre 100 y 500 V, no será inferior a $10\,000\text{ M}\Omega \times \text{km}$ después de un minuto de electrización, a una temperatura de 15 °C por lo menos. La medición de la resistencia de aislamiento se hará después de la prueba de rigidez dieléctrica. Esta medición se efectuará para cada largo de fabricación del cable.

3 Especificación de una sección elemental de cable

La Administración y el proveedor deberán ponerse de acuerdo en cuanto a la determinación de si se realizarán pruebas en todas las secciones o en cierta proporción de ellas únicamente, o incluso si bastará una sola prueba tipo de aceptación, especialmente cuando sea difícil efectuar mediciones en condiciones reales.

3.1 Impedancia media

El valor medio de la parte real de la impedancia de un par coaxial a 1 MHz no debe diferir del valor nominal (definido en el § 1.1) en más de 3 Ω . Las mediciones se efectuarán como se indica en el § 2.1.

3.2 Regularidad de impedancia

Estas mediciones se efectúan como se estipula en el § 2.2. El cuadro 4/G.621 indica los diversos valores que deben obtenerse según el uso a que esté destinado el cable. La observación 1 al § 2.2 sigue siendo válida.

CUADRO 4/G.621

Mediciones ecométricas de las secciones elementales de cable

Tipo del sistema		Digital	
Velocidad		Velocidad media (6 a 34 Mbit/s)	
Duración máxima del impulso		100 ns	
Cláusulas generales	Cresta máxima	100%	30 dB
		95%	33 dB
Cláusulas facultativas complementarias ^{a)}	A	Media de las tres crestas de mayor amplitud	33 dB
	B	Error de resistencia equivalente	

^{a)} Basta comprobar que se cumple una de las dos condiciones A o B.

3.3 *Atenuación por unidad de longitud*

A 1 MHz, el valor real de la atenuación por unidad de longitud no debe apartarse en más de $\pm 0,4$ dB del valor nominal, definido en el § 1.1.1.

La atenuación medida en un cable a la temperatura media t °C se refiere a 10 °C mediante la fórmula:

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_\alpha (t - 10)}$$

El coeficiente de variación de la atenuación en función de la temperatura k_α es de aproximadamente $1,8 \times 10^{-3}$ por °C a frecuencias superiores a 2 MHz y de aproximadamente $1,9 \times 10^{-3}$ por °C a 1 MHz.

3.4 *Diafonía*

La atenuación paradiafónica entre pares coaxiales, utilizados para sentidos de transmisión diferentes, medida en la banda de frecuencias de 0,5 a 20 MHz en secciones de 2 y 4 km debe ser superior a 130 dB.

3.5 *Rigidez dieléctrica*

El par debe poder soportar una tensión continua de 1000 V como mínimo, aplicada durante un minuto por lo menos entre el conductor interior y el conductor exterior.

Además, debe realizarse una prueba de la rigidez dieléctrica entre el par coaxial y tierra como se describe en el § 2.5, utilizando una tensión continua de 2000 V como mínimo aplicada durante un minuto.

3.6 *Resistencia de aislamiento*

La resistencia de aislamiento entre los conductores interior y exterior del par coaxial, medida con una tensión perfectamente estable comprendida entre 100 y 500 V, no será inferior a $5000 \text{ M}\Omega \times \text{km}$ después de un minuto de electrización. La medición de la resistencia de aislamiento se hará después de la prueba de rigidez dieléctrica. Esta medición se efectuará en cada sección elemental de cable.

Recomendación G.622

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE PARES COAXIALES DE 1,2/4,4 mm

(antigua Recomendación G.342; modificada posteriormente)

En la presente Recomendación se define el par coaxial de 1,2/4,4 mm recomendado por el CCITT para el servicio internacional. El empleo de este par se especifica en los cuadros que figuran en la introducción de la subsección 6.2 de las Recomendaciones de la serie G. Cuando se prevé la posibilidad de emplearlo para la transmisión digital o de televisión, ello se indica expresamente en el texto de cada cláusula.

1 Características del par

1.1 *Características eléctricas del par coaxial*

1.1.1 *Impedancia característica*

El valor nominal de la parte real de la impedancia característica es de 75Ω a 1 MHz.

La tolerancia es de $\pm 1,5 \Omega$ para la telefonía y de $\pm 1 \Omega$ en el caso de los pares que podrían emplearse en transmisiones de televisión.

En el cuadro 1/G.622 se indican, a título informativo, valores medios de la parte real de la impedancia obtenidos a diversas frecuencias de pares coaxiales fabricados con arreglo a métodos diferentes.

CUADRO 1/G.622

Valores medios de la parte real de la impedancia característica medida a diferentes frecuencias

Frecuencia (MHz)	0,06	0,1	0,2	0,5	1	1,3	4,5	12	18
Impedancia (Ω)	79,8	78,9	77,4	75,8	75	74,8	74	73,6	73,5

1.1.2 Atenuación por unidad de longitud

El valor nominal de la atenuación por unidad de longitud, del par, a 12 MHz y a 10° C, es de 18,0 ± 0,4 dB/km.

En el cuadro 2/G.622 se indica la tendencia general de la variación de la atenuación por unidad de longitud en función de la frecuencia, para todos los pares que se ajustan a la presente Recomendación.

CUADRO 2/G.622

Valores nominales de la atenuación por unidad de longitud a diversas frecuencias

Frecuencia (MHz)	0,06	0,1	0,3	0,5	1	1,3	4,5	12	18
Atenuación por unidad de longitud (dB/km)	1,5	1,8	2,9	3,7	5,3	6,0	11	18	22

La fórmula siguiente, en la que α se expresa en dB por km y f en MHz, da una aproximación de la atenuación por unidad de longitud a partir de 2 MHz:

$$\alpha = 0,07 + 5,15 \sqrt{f} + 0,005 f.$$

Nota — En el anexo A se indican, a título informativo, los valores medidos o especificados en distintos países, con las desviaciones o tolerancias correspondientes. En todo caso, en el diseño de los amplificadores habrá que tomar como base los valores medidos en el tipo de cable que se emplee.

1.1.3 Distorsión de atenuación

La distorsión de atenuación se comprueba calculando la relación $\frac{\alpha_{f_1}}{\alpha_{f_2}}$ entre los valores de atenuación α_{f_1} y α_{f_2} medidos a las dos frecuencias f_1 y f_2 .

Debe cumplirse uno de los tres límites siguientes:¹⁾

$$\frac{\alpha_{16 \text{ MHz}}}{\alpha_{4 \text{ MHz}}} \leq 2,005$$

$$\frac{\alpha_{24 \text{ MHz}}}{\alpha_{6 \text{ MHz}}} \leq 2,009$$

$$\frac{\alpha_{48 \text{ MHz}}}{\alpha_{12 \text{ MHz}}} \leq 2,016$$

La distorsión de atenuación se comprueba en la fábrica con un pequeño porcentaje de largos de fábrica.

¹⁾ Estas tres condiciones son equivalentes. Por consiguiente, sólo debe usarse una para comprobar la distorsión de atenuación.

1.2 Características mecánicas del par coaxial

Las dimensiones nominales son las siguientes:

- diámetro del conductor interior de cobre macizo: 1,2 mm;
- diámetro interior del conductor exterior: 4,4 mm.

El conductor exterior cilíndrico se construye mediante una cinta de cobre de 0,15 mm o 0,18 mm de espesor.

2 Especificación del cable

2.1 Impedancia característica

Para comprobar que se respeta el valor indicado en el § 1.1.1, se pueden efectuar mediciones por medio de impulsos. Se considera como parte real de la impedancia a 1 MHz la componente resistiva de la impedancia a 1 MHz de la red con la que se haya conseguido el mejor equilibrado del par coaxial medido.

2.2 Regularidad de impedancia

Las mediciones de control corriente de la regularidad de impedancia se efectúan por medio de ecómetros de impulsos, desde uno o ambos extremos de los largos de fabricación. La curva de eco debe trazarse con corrección en amplitud y si es posible en amplitud y en fase. De medirse el error de resistencia equivalente, debe corregirse. Sin embargo, en las mediciones corrientes puede prescindirse de las correcciones si el largo medido es tan corto que la corrección sería pequeña.

En el cuadro 3/G.622 se indican los diversos valores que han de obtenerse según el uso al que se destina el cable.

CUADRO 3/G.622

Medidas ecométricas de los largos de fabricación

Tipo del sistema			Analogico		Digital	
Gama de frecuencias o velocidad			0,06 a 6 MHz	0,3 a 20 MHz	Velocidad media (6 a 34 Mbit/s)	Alta velocidad (140 Mbit/s)
Duración máxima del impulso			100 ns	50 ns	50 ns	10 ns
Cláusulas generales	Cresta máxima	100%	45 dB	48 dB	48 dB	48 dB
		95%	50 dB	50 dB	50 dB	49 dB
Cláusulas facultativas complementarias ^{a)}	A	Media de las tres crestas de mayor amplitud	48 dB	51 dB	51 dB	47 dB
	B	Error de resistencia equivalente	1,2 Ω	1,6 Ω	1,6 Ω	2,5 Ω

^{a)} Basta comprobar que se cumple una de las dos condiciones A o B.

Nota 1 – En el caso de sistemas analógicos de 0,06 a 1,3 MHz, rigen las mismas cláusulas que para los sistemas analógicos de 0,06 a 6 MHz.

Nota 2 – Para detectar las irregularidades de carácter sistemático, se efectuarán mediciones de la pérdida de retorno por irregularidades en una escasa proporción de los largos fabricados. Los límites que se han de respetar son los indicados en el cuadro 4/G.622.

Nota 3 – En el cuadro, los porcentajes indicados se refieren al conjunto de los pares de un lote de cables presentados simultáneamente al control o que serán objeto de una misma entrega.

CUADRO 4/G.622

Atenuación de la onda reflejada en las irregularidades

Tipo del sistema		Digital	
Gama de frecuencias o velocidad		Velocidad media (6 a 34 Mbit/s)	Alta velocidad (140 Mbit/s)
Porcentaje de los largos		5% aproximadamente	5% aproximadamente
Banda de frecuencias		1 a 40 MHz	20 a 100 MHz
Valor mínimo medido	100%	20 dB	20 dB
	95%	23 dB	23 dB

2.3 *Atenuación por unidad de longitud*

La atenuación de los pares permitirá satisfacer las condiciones especificadas en el § 3.3²⁾.

Si se toma como referencia la longitud medida sobre una generatriz de la cubierta del cable, la atenuación por unidad de longitud debe multiplicarse por el factor de cableado, cuyos valores, para diferentes números de pares contenidos en el cable, se dan a título indicativo en el cuadro 5/G.622.

CUADRO 5/G.622

Valores del factor de cableado

Número de pares en el cable	Factor de cableado con relación a la capa exterior	Factor de cableado ponderado con relación al conjunto del cable
4 ó 6		1,002
8		1,003
12 a 18	1,004	1,003
24	1,005	1,004
48	1,008	1,006

2.4 *Diafonía*

La diafonía entre pares permitirá satisfacer las condiciones especificadas en el § 3.4²⁾.

²⁾ Las mediciones de atenuación y de diafonía en esta fase de la fabricación son sólo mediciones de prototipos.

2.5 Rigidez dieléctrica

El par deberá soportar una tensión alterna de 1000 V, valor eficaz, a 50 Hz (o una tensión continua de 1500 V), aplicada durante un minuto por lo menos entre el conductor interior y el conductor exterior.

Si se ha previsto que en servicio normal los conductores exteriores de los pares coaxiales no estén puestos a tierra, se hará una prueba de rigidez dieléctrica entre los conductores exteriores y la cubierta metálica puesta a tierra; los conductores de los cuadretes o de los pares auxiliares estarán conectados a los conductores exteriores de los pares coaxiales o la cubierta, según el tipo de sistema utilizado para estos cuadretes o pares. Se aplicará en estas condiciones, por lo menos durante un minuto, una tensión alterna no inferior a 2000 V, valor eficaz, a 50 Hz (o una tensión continua igual o superior a 3000 V).

Nota — Las tensiones de prueba recomendadas tienen en cuenta los márgenes normales de seguridad aplicados en los diversos países. Un aislamiento de polietileno podría seguramente soportar tensiones mucho más altas; sin embargo, es probable que en el futuro pueda utilizarse otro dieléctrico.

2.6 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento entre los conductores interior y exterior del par coaxial, medida con una tensión perfectamente estable comprendida entre 100 y 500 V, no deberá ser inferior a $5000 \text{ M}\Omega \times \text{km}$ después de un minuto de electrización, a una temperatura de por lo menos 15°C . La resistencia de aislamiento se medirá después de la prueba de rigidez dieléctrica. Esta medición se efectuará en cada largo de fabricación del cable.

3 Especificación de una sección elemental de cable

3.1 Impedancia terminal

Se aplican las condiciones especificadas en los § 1.1.1 y 2.1.

3.2 Regularidad de impedancia

Las mediciones de regularidad de impedancia se efectúan desde cada extremo de la sección elemental de cable. Según el uso al que se destine el cable, conviene referirse a una de las columnas del cuadro 6/G.622.

3.3 Atenuación por unidad de longitud

A 1 MHz, el valor real de la atenuación por unidad de longitud no debe diferir del valor nominal en más de $\pm 0,2 \text{ dB}$.

La atenuación medida en un cable a una temperatura media de $t^\circ\text{C}$ se refiere a 10°C mediante la fórmula:

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_\alpha(t - 10)}$$

El valor del coeficiente de temperatura k_α es igual a 2×10^{-3} por $^\circ\text{C}$ a las frecuencias iguales superiores a 500 kHz. Aumenta ligeramente a frecuencias inferiores (el valor es de orden de $2,8 \times 10^{-3}$ por $^\circ\text{C}$ a 60 kHz).

3.4 Diafonía

La relación telediafónica entre dos pares coaxiales de un cable, que transmiten en el mismo sentido, a cualquier frecuencia de la banda efectivamente transmitida, debe ser, como mínimo, igual a los valores indicados en el cuadro 7/G.622.

CUADRO 6/G.622

Mediciones ecométricas de las secciones elementales de cable

Tipo del sistema			Analogico		Digital		
Gama de frecuencias o velocidad			0,06 a 6 MHz	0,3 a 20 MHz	Velocidad media (6 a 34 Mbit/s)	Alta velocidad (140 Mbit/s)	
Duración máxima del impulso			200 ns	100 ns	100 ns	50 ns	
Cláusulas generales	Cresta máxima	100%	42 dB	42 dB	42 dB	40 dB	
		95%	46 dB	46 dB	46 dB	44 dB	
Cláusulas facultativas complementarias ^{a)}		A	Media de las tres crestas de mayor amplitud. Máximo no corregido	45 dB	45 dB	45 dB	43 dB
				48 dB	48 dB	48 dB	46 dB
	Error de resistencia equivalente	B	Corregido en energía ($\Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$)	2	2,5	2,5	3,5
		C	No corregido (Ω)	1,8	2,0	2,0	2,5

^{a)} Basta comprobar que se cumple una de las condiciones A, B o C.

Nota 1 – Son válidas las notas 1 y 2 formuladas a propósito del cuadro 3-G/622. Sin embargo, para los sistemas analógicos de 0,06 a 1,3 MHz son aplicables las cláusulas de la columna 0,06 a 6 MHz, pero la duración del impulso cuando la longitud de las secciones elementales de cable es superior a 4 km puede llegar hasta 400 ns.

Nota 2 – No es necesario efectuar mediciones con señales sinusoidales en secciones elementales de cable, salvo cuando haya motivos fundados para temer que hayan podido producirse irregularidades de carácter sistemático en el tendido o la instalación del cable. En tales casos, los resultados de la medición no deben ser inferiores a 20 dB.

CUADRO 7/G.622

Relación telediafónica mínima entre dos pares coaxiales de 1,2/4,4 mm

Longitud de la sección elemental de cable (km)	Relación telediafónica (dB)	
	Sin inversión de fase	Con inversión de fase en los repetidores
8	87	–
6	89	80
4	93	–
3	95	83
2	99	–

No es necesario especificar un valor de relación paradiafónica cuando se elijan primeros límites para la relación telediafónica.

Cuando se utilice inversión de fase, la relación paradiafónica para pares que transmitan en sentidos opuestos deberá ser de 84 dB, por lo menos, para una sección elemental de cable de unos 6 km, y de 87 dB para una sección elemental de cable de unos 3 km.

Nota – Estos límites permiten obtener un valor de 65 dB para la relación telediafónica en la peor sección homogénea de 280 km, suponiendo que en la banda de frecuencias considerada, sólo interviene la telediafonía debida al cable³⁾. Se supone que la variación de la relación telediafónica mínima con la distancia sigue aproximadamente una ley de 20 dB/década para las distancias inferiores a una distancia límite L_1 y de 10 dB/década para distancias superiores a L_1 . El valor de L_1 depende de cierto número de factores, especialmente del sistema utilizado, el tipo de cable y la frecuencia considerada. Un valor de 30 km resulta adecuado en la mayoría de los casos, aunque se han observado en la práctica valores de L_1 que varían de algunos kilómetros a 30 kilómetros, lo que demuestra que los límites del cuadro 7/G.622 son consecuentes con el límite de 65 dB de una sección de 280 km.

3.5 Rigidez dieléctrica

El par deberá soportar una tensión continua de 1000 V, por lo menos, aplicada durante un minuto, como mínimo, entre el conductor interior y el conductor exterior.

Además, se efectuará una prueba de rigidez dieléctrica entre el par coaxial y tierra en las condiciones indicadas en el § 2.5, con una tensión continua de 2000 V, por lo menos, aplicada durante un minuto.

Nota – Las tensiones de prueba recomendadas tienen en cuenta los márgenes normales de seguridad aplicados en los diversos países. Un aislamiento de polietileno podría seguramente soportar tensiones mucho más altas; sin embargo, es probable que en el futuro pueda utilizarse otro dieléctrico.

3.6 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento entre los conductores interior y exterior del par coaxial, medida con una tensión perfectamente comprendida entre 100 y 500 V, no deberá ser inferior a $5000 \text{ M}\Omega \times \text{km}$ después de un minuto de electrización. La resistencia de aislamiento se medirá después de la prueba de rigidez dieléctrica. La medición se efectuará en cada sección elemental de cable.

ANEXO A

(a la Recomendación G.622)

Ejemplos de valores de atenuación por unidad de longitud de par coaxial medida o especificada en ciertos países

(Valores indicados a título informativo)

CUADRO A-1/G.622

Valores medidos de un tipo de par cuyo conductor exterior tiene un espesor de 0,15 mm

Frecuencia (MHz)	0,060	0,1	0,3	0,5	1	4	12	18	52
Atenuación (dB/km)	1,54	1,85	2,89	3,67	5,21	10,4	18,0	22,0	37,5
Tolerancia (dB/km)	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,2	±0,2	±0,5
Coefficiente de temperatura	0,0028	0,0026	0,0024	0,00225	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020

³⁾ En la práctica, es posible despreciar la influencia de los equipos de línea sobre la diafonía inteligible, pero esto es válido únicamente para las frecuencias inferiores de la banda (por debajo de 3000 kHz).

Valores especificados en ciertos países para un tipo de par cuyo conductor exterior tiene un espesor de 0,18 mm

Frecuencia (MHz)	60	100	200	300	500	700	1000	1300	4500
Atenuación especificada (dB/km)	1,49	1,80	2,42	2,91	3,73	4,43	5,30	6,05	11,2
Tolerancia (dB/km)	± 0,1	± 0,1	a)	a)	a)	a)	± 0,2	± 0,2	± 0,2

a) No especificada.

Recomendación G.623

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE PARES COAXIALES DE 2,6/9,5 mm

(antigua Recomendación G.331, modificada posteriormente)

1 Características de los pares

Es necesario que existan en la red internacional tipos de pares coaxiales que tengan las mismas características eléctricas, a fin de que los sistemas de transmisión puedan funcionar en cualquier cable conforme a la presente Recomendación. El empleo de estos pares se define en los cuadros 1/G.623 y 2/G.623 que figuran en la introducción del § 6.2 de las Recomendaciones de la serie G.

1.1 Características eléctricas del par coaxial

1.1.1 Impedancia característica

La impedancia característica del par coaxial obedece a una ley de variación perfectamente definida en función de la frecuencia:

$$Z = 74,4 \left[1 + \frac{0,0123}{\sqrt{f}} (1 - j) \right] \Omega$$

donde f es la frecuencia en MHz¹⁾. Por tanto, es innecesario fijar valores para todas las frecuencias.

La tolerancia para el valor 74,4 Ω (impedancia a frecuencia infinita) es de $\pm 1 \Omega$.

1.1.2 Atenuación por unidad de longitud

La atenuación por unidad de longitud del par coaxial a la frecuencia de 60 MHz y a la temperatura de 10 °C debe estar comprendida dentro de los límites 18,00 \pm 0,3 dB/km²⁾.

En el cuadro 1/G.623 se indica la variación de la atenuación en función de la frecuencia, para un valor nominal de 18,00 dB/km a 60 MHz.

¹⁾ Esta fórmula es equivalente a $Z = 74,4 + (0,92/\sqrt{f}) (1 - j) \Omega$. Si se utiliza esta última fórmula, hay que corregir en consecuencia el valor de la tolerancia indicada en el texto.

²⁾ Por razones de orden interno, determinadas Administraciones han estimado que podía ser de su interés utilizar pares coaxiales de mayores dimensiones cuya atenuación es menor, lo que permite utilizar secciones elementales de cable más largas (2 km). Puede considerarse que los cables fabricados reuniendo dichos pares satisfacen los objetivos de la presente Recomendación en lo que respecta a su empleo como soporte de sistemas de 60 MHz, siempre que las características eléctricas de las secciones elementales de cable realizadas por medio de tales cables respeten las condiciones especificadas en esta Recomendación, y los equipos de línea utilizados sean idénticos a los empleados en los cables previstos en la presente Recomendación. Pertenecen a esta categoría los pares de 3,7/13,5 mm de la Administración francesa, descritos en [1].

CUADRO 1/G.623

Atenuación por unidad de longitud a diversas frecuencias

Frecuencia (MHz)	0,06	0,3	1	4	12	20	40	60	150	300
Atenuación (dB/km)	0,59	1,27	2,32	4,62	8,01	10,35	14,67	18,00	28,6	40,7

La fórmula siguiente, en la que α se expresa en dB por km y f en MHz, da una aproximación de la atenuación por unidad de longitud a partir de 1 MHz:

$$\alpha = 0,01 + 2,3 \sqrt{f} + 0,003 f$$

Nota – Para la concepción de los amplificadores hay que tomar como referencia los valores medidos en el cable que se empleará.

1.1.3 Tolerancias de atenuación por unidad de longitud – Distorsión de atenuación

Para garantizar una adaptación entre el par coaxial y los equipos de transmisión, además de las tolerancias a la frecuencia 60 MHz, fijadas a $\pm 0,3$ dB/km, es también necesario establecer los límites de distorsión de atenuación según la frecuencia.

El cuadro 2/G.623 da los valores nominales y tolerancias de la magnitud δ_f (en MB · km⁻¹ · MHz^{-1/2})

$$\delta_f = \frac{\alpha_{60}}{\sqrt{60}} - \frac{\alpha_f}{\sqrt{f}}$$

a diversas frecuencias (f en MHz)

CUADRO 2/G.623

Valores nominales y tolerancias de la magnitud δ_f que da la distorsión de atenuación a diversas frecuencias

Frecuencia (MHz)	4	12	20	40	60
Valor nominal	1,1	1	0,8	0,4	0
Tolerancias	$\pm 1,5$	$\pm 1,1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,4$	± 0

Para comprobar la distorsión de atenuación por encima de 60 MHz, que es necesaria en particular para la transmisión digital, es preciso calcular la relación entre los valores de atenuación medidos a las frecuencias de 240 MHz y de 60 MHz (después de eliminar las crestas). El límite que debe observarse es:

$$\frac{\alpha_{240 \text{ MHz}}}{\alpha_{60 \text{ MHz}}} \leq 2,045$$

La distorsión de atenuación se comprueba en la fábrica con un pequeño porcentaje de largos de fabricación.

1.2 Construcción mecánica de los pares coaxiales

- a) El conductor interior es un hilo de cobre macizo de 2,6 mm de diámetro.
- b) El aislamiento se realiza de modo que el aislante, compuesto de un gas y de una sustancia dieléctrica sólida de baja pérdida, tenga una permitividad lo suficientemente reducida como para satisfacer las cláusulas de la presente Recomendación.

- c) El conductor exterior está constituido por una cinta de cobre de 0,25 mm de espesor, dispuesta alrededor del aislante en forma de cilindro de 9,5 mm de diámetro interior.
- d) Por razones de diafonía, conviene rodear el conductor exterior de cintas de acero dulce.

Ciertas Administraciones utilizan otra forma de construcción que presenta las mismas características eléctricas, con un conductor interior de cobre de 2,8 mm de diámetro y un conductor exterior de aluminio de un diámetro interior de 10,2 mm. En el anexo A se describe con más detalle este tipo de construcción.

2 Especificación del cable

2.1 Impedancia característica

Para comprobar que se respeta el valor indicado en el § 1.1.1, se pueden efectuar las mediciones ya sea por medio de una señal sinusoidal o por medio de impulsos.

En el primer caso, la comprobación se hace a menudo en función de la curva suavizada de la impedancia en función de la frecuencia.

En el segundo caso, conviene utilizar un impulso en seno cuadrado, de una duración entre los instantes de semiamplitud inferior a 100 ns. Se puede efectuar un equilibrado con relación a una impedancia de referencia variable o medir un coeficiente de reflexión con relación a un patrón fijo.

2.2 Regularidad de impedancia

Las mediciones de control corriente de la regularidad de impedancia se efectúan por medio de ecómetros de impulsos, desde uno o ambos extremos de los largos de fabricación. La curva de eco debe trazarse con corrección en amplitud, y si es posible, en amplitud y fase. De medirse el error de resistencia equivalente, debe corregirse. Sin embargo, en las mediciones corrientes puede prescindirse de las correcciones si el largo probado es tan corto que la corrección sería pequeña.

En el cuadro 3/G.623 se indican los diversos valores que han de obtenerse según el uso al que se destina el cable.

Nota 1 – En el caso de sistemas analógicos de 0,06 a 6 MHz rigen las mismas cláusulas que para los sistemas analógicos de 0,3 a 20 MHz.

Nota 2 – Para detectar las irregularidades de carácter sistemático, deben efectuarse mediciones de la pérdida de retorno por irregularidades en una pequeña proporción de los largos fabricados. Los límites que han de respetarse figuran en el cuadro 4/G.623.

Nota 3 – En los cuadros, los porcentajes indicados se refieren al conjunto de los pares de un lote de cables presentados simultáneamente al control o que serán objeto de una misma entrega.

CUADRO 3/G.623

Mediciones ecométricas de los largos de fabricación

Tipo del sistema			Analógico		Digital	
Gama de frecuencias o velocidad			0,3 a 20 MHz	4 a 70 MHz	Alta velocidad (140 Mbit/s)	Muy alta velocidad (565 Mbit/s)
Duración máxima del impulso			50 ns	10 ns	10 ns	10 ns ^{a)}
Cláusulas generales	Cresta máxima	100%	50 dB	48 dB	48 dB	
		95%	56 dB	54 dB ^{b)}	54 dB ^{b)}	
Cláusulas facultativas complementarias ^{c)}	A	Media de las tres crestas de mayor amplitud	53 dB	51 dB	51 dB	
	B	Error de resistencia equivalente	$L < 300$ m $300 \leq L \leq 500$ m $L > 500$ m	0,6 Ω 0,8 Ω 0,8 Ω	1 Ω 1,2 Ω 1,6 Ω	1 Ω 1,2 Ω 1,6 Ω

CUADRO 4/G.623

Mediciones de los largos de fabricación efectuadas con señales sinusoidales

Tipo del sistema		Analógico		Digital	
Gama de frecuencias o velocidad		0,3 a 20 MHz	4 a 70 MHz	Alta velocidad ^{d)}	Muy alta velocidad
<i>Atenuación de la onda reflejada en las irregularidades</i>					
Porcentaje de largos en cuestión		No procede	Alrededor del 5%	Alrededor del 5%	Alrededor del 5%
Banda de frecuencias en cuestión		X	4 a 62 MHz	20 a 100 MHz	62 a 500 MHz
Valor mínimo medido	100%		35 dB	30 dB	20 dB
	95%	38 dB			
<i>Potencia media reflejada en una banda de 10 MHz</i> (Transmisión de señales de televisión con arreglo al sistema de 60 MHz)					
Banda de frecuencias en cuestión		No procede	52 a 62 MHz		
Coeficiente medio de reflexión de potencia	$L \approx 250$ m	X	41 dB	35 dB	28 dB
	$L > 500$ m		40 dB		

Notas a los cuadros 3/G.623 y 4/G.623

- a) Si las investigaciones o los estudios de definición revelan la necesidad de efectuar mediciones con impulsos de menor duración, se adoptará la duración de 2 ns.
- b) A condición de no encontrar más de un valor comprendido entre 54 y 48 dB en un mismo par coaxial de una sección elemental de cable.
- c) Basta comprobar que se cumple una de las condiciones A o B.
- d) Las cláusulas definidas para los sistemas analógicos de 4 a 70 MHz son ciertamente suficientes; no obstante, se hañ propuesto también valores mucho más bajos. Conviene llegar a un acuerdo sobre los valores que han de especificarse y la banda de frecuencias que debe explorarse (4 a 100 MHz o 62 a 500 MHz).

2.3 *Atenuación por unidad de longitud*

La atenuación de los pares permitirá satisfacer las condiciones especificadas en el § 3.3³⁾.

Si se hace referencia a la longitud medida sobre una generatriz de la cubierta del cable, la atenuación por unidad de longitud debe multiplicarse por el factor de cableado, cuyos valores se indican a título de ejemplo en el cuadro 5/G.623.

CUADRO 5/G.623

Valores del factor de cableado

Número de pares en el cable	Factor de cableado con relación a la capa exterior	Factor de cableado ponderado con relación al conjunto del cable
4 ó 6		1,003
8		1,005
12	1,009	1,007
18 ó 20	1,012	1,010

2.4 *Diafonía*

La diafonía entre pares permitirá satisfacer las condiciones especificadas en el § 3.4³⁾.

2.5 *Rigidez dieléctrica*

El par debe soportar durante un minuto una tensión alterna de 2000 V, valor eficaz, a 50 Hz (o una tensión continua de 3000 V), aplicada entre el conductor interior y el conductor exterior conectado a la cubierta. Esta prueba de rigidez dieléctrica debe efectuarse en cada largo de fabricación del cable.

2.6 *Resistencia de aislamiento*

La resistencia de aislamiento entre los conductores interior y exterior del par coaxial, medida con una tensión perfectamente estable comprendida entre 100 y 500 V, no debe ser inferior a $5000 \text{ M}\Omega \times \text{km}$ después de un minuto de electrización, a una temperatura de por lo menos 15 °C. La resistencia de aislamiento debe medirse después de la prueba de rigidez dieléctrica. Esta medición se efectuará en cada largo de fabricación del cable.

3 **Especificación de una sección elemental de cable**

La Administración y el proveedor deberán ponerse de acuerdo en cuanto a la determinación de si se realizarán pruebas en todas las secciones o en cierta proporción de ellas únicamente, o incluso si bastará una sola prueba tipo de aceptación, especialmente cuando sea difícil efectuar mediciones en condiciones reales.

3.1 *Impedancia terminal*

Se aplican las condiciones especificadas en los § 1.1.1 y 2.1.

³⁾ Las mediciones de atenuación y de diafonía en esta fase de la fabricación son solamente mediciones de prototipo.

3.2 Regularidad de impedancia

Las mediciones de regularidad de impedancia se efectúan desde cada extremo de la sección elemental de cable. Según el uso al que se destine el cable, conviene referirse a una de las columnas del cuadro 6/G.623.

Nota 1 – Son válidas las observaciones 1 y 3 formuladas en el § 2.2 a propósito del cuadro 3/G.623. Sin embargo, para los sistemas analógicos de 0,06 a 6 MHz son aplicables las cláusulas de la columna 0,3 a 20 MHz, pero la duración del impulso cuando la longitud de las secciones elementales de cable es superior a 5 km puede ser de hasta 200 ns.

Nota 2 – No es necesario efectuar mediciones con señales sinusoidales en secciones elementales de cable, salvo cuando haya motivos fundados para temer que hayan podido producirse irregularidades de carácter sistemático en el tendido o la instalación del cable. En tales casos, los resultados de la medición no deben ser inferiores a 33 dB para la banda de 4 a 62 MHz, ni a x dB para la banda de 62 a y MHz.

3.3 Atenuación por unidad de longitud

En el caso de un cable de una fabricación dada cualquiera, cuya atenuación nominal se haya fijado dentro de los límites indicados en el § 1.1.2, la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la atenuación medidos a 60 MHz en los pares coaxiales de todas las secciones elementales de 1,5 km, deberá ser inferior a 0,4 dB/km (valor referido a 10 °C).

La atenuación medida en un cable a una temperatura media de t °C se refiere a 10 °C mediante la fórmula:

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_\alpha (t - 10)}$$

CUADRO 6/G.623

Mediciones ecométricas de las secciones elementales de cable

Tipo del sistema		Analógico		Digital	
Gama de frecuencias o velocidad		0,3 a 20 MHz	4 a 70 MHz	Alta velocidad (140 Mbit/s)	Muy alta velocidad (565 Mbit/s)
Duración máxima del impulso		50 ns	10 ns	10 ns ^{c)}	10 ns ^{a)}
Cláusulas generales	Cresta máxima	100%	50 dB	46 dB	46 dB
		95%	50 dB	50 dB	50 dB
Cláusulas facultativas complementarias ^{b)}	A	Media de las tres crestas de mayor amplitud. Máximo no corregido	51 dB 54 dB	49 dB 52 dB	49 dB 52 dB
		B	Corregido en energía ($\Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$)	0,8	2
	C			No corregido (Ω)	1

^{a)} Si las investigaciones o los estudios de definición revelan la necesidad de efectuar mediciones con impulsos de menor duración, se adoptará la duración de 2 ns.

^{b)} Basta comprobar que se cumple una de las tres condiciones A, B o C.

^{c)} Mientras no exista un ecómetro con impulsos de 10 ns capaz de explorar la mitad de una sección de repetición, la medición se efectuará con impulsos de 50 ns.

3.4 Diafonía

La relación telediafónica entre dos pares coaxiales de un cable, a cualquier frecuencia de la banda efectivamente transmitida, debe ser, como mínimo, igual a los valores indicados en el cuadro 7/G.623.

CUADRO 7/G.623

Longitud (km)	Bandas de frecuencias (MHz)	Relación telediafónica (dB)
9	0,06 a 4,3	85
4,5	0,3 a 12,5	94 ^{a)}
1,5	4 a 62	130

a) Si el cable transmite al mismo tiempo sistemas que utilizan la banda de 0,3 a 12 MHz y sistemas que utilizan la banda de frecuencias inferiores, con pasos de amplificación más largos, el valor de la relación telediafónica debe aumentarse en algunos decibelios a las frecuencias superiores a 300 kHz para tener en cuenta las diferencias de niveles en ciertos puntos del circuito. Un valor de 100 dB es suficiente.

En el caso de cables explotados a 60 MHz, la atenuación paradiafónica a 60 MHz debe ser, como mínimo, de 140 dB entre pares que transmiten en sentido opuesto. Para los demás sistemas no se fija ningún límite por haberse demostrado en estudios anteriores que la relación paradiafónica en condiciones de servicio es superior a la relación telediafónica. Estos valores comprenden la contribución de los accesorios asociados a la sección elemental de cable, como por ejemplo los flexibles de conexión y los conectores coaxiales.

Nota 1 – Los valores indicados para los cables empleados con sistemas de 60 MHz se basan en consideraciones generales sobre la diafonía entre circuitos radiofónicos de la Recomendación J.18 [2]. Estos valores pueden obtenerse fácilmente; sin embargo, en el estado actual de la técnica es muy difícil controlarlos con los aparatos de medida de uso corriente.

Nota 2 – Los valores indicados para los cables empleados con sistemas de 12 MHz, o menos, son suficientes para la transmisión telefónica. Para la transmisión por circuitos radiofónicos, la relación telediafónica debe ser de 105 dB, valor que se obtiene fácilmente para todos los tipos de cable a frecuencias superiores a 300 kHz.

Nota 3 – Estos límites permiten obtener un valor de 65 dB para la relación telediafónica de la peor sección homogénea de 280 km, suponiendo que en la banda de frecuencias considerada interviene únicamente la telediafonía debida al cable⁴⁾. Cuando no existe inversión de fase, se supone que la variación de la relación telediafónica mínima con la distancia sigue aproximadamente una ley de 20 dB/década para distancias inferiores a una distancia límite L_1 y de 10 dB/década para distancias superiores a L_1 . El valor de L_1 depende de cierto número de factores, especialmente del sistema utilizado, el tipo de cable y la frecuencia considerada. Un valor de 30 km resulta adecuado en la mayoría de los casos, aunque se han observado en la práctica valores de L_1 que varían de algunos kilómetros a 30 kilómetros, lo que demuestra que los límites del cuadro 7/G.623 son consecuentes con el límite de 65 dB de una sección de 280 km.

3.5 Rigidez dieléctrica

El par deberá soportar durante un minuto una tensión continua de 2000 V aplicada entre el conductor interior y el conductor exterior conectado a la cubierta. Esta prueba de rigidez dieléctrica deberá efectuarse en cada sección una vez terminado el tendido.

3.6 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento entre los conductores interior y exterior del par coaxial, medida con una tensión perfectamente estable comprendida entre 100 y 500 V, no debe ser inferior a $5000 \text{ M}\Omega \times \text{km}$ después de un minuto de electrización; la resistencia de aislamiento deberá medirse después de la prueba de rigidez dieléctrica. Esta medición se efectuará en cada sección.

⁴⁾ En la práctica es posible despreciar la influencia de los equipos de línea sobre la diafonía inteligible, pero esto es válido únicamente para las frecuencias inferiores de la banda (por debajo de 300 kHz).

ANEXO A

(a la Recomendación G.623)

Descripción de un par coaxial de cobre-aluminio que presenta las mismas características que el par coaxial de cobre de 2,6/9,5 mm

Este par coaxial de cobre-aluminio tiene la siguiente constitución:

- El conductor interior es un hilo de cobre macizo de 2,8 mm de diámetro.
- El aislamiento se realiza de manera tal que el aislante, compuesto por un gas y una sustancia dieléctrica sólida de baja pérdida, tenga una permitividad lo suficientemente reducida como para satisfacer las cláusulas de la presente Recomendación.
- El conductor exterior está constituido por una cinta de aluminio de 0,7 mm de espesor dispuesta en torno del aislante en forma de un cilindro con un diámetro interior de 10,2 mm, soldado longitudinalmente.

Los pares coaxiales de este tipo pueden empalmarse fácilmente y con seguridad, ya sea entre sí o con pares coaxiales de cobre de 2,6/9,5 mm y satisfacen todas las características eléctricas de la presente Recomendación. En particular, se respetan los valores de relación teledifónica indicados en el § 3.4 entre pares que transmiten en el mismo sentido.

Referencias

- [1] CCITT – Cuestión 17/XV, anexo 2, Libro Verde, Tomo III.3, UIT, Ginebra, 1973.
- [2] Recomendación del CCITT *Diafonía en los circuitos radiofónicos establecidos en sistemas de portadoras*, Tomo III, Rec. J.18.

6.3 Cables submarinos

Las Recomendaciones de esta subsección se refieren a las especificaciones de los cables submarinos. Las Recomendaciones relativas a los sistemas figuran en la subsección 3.7.

El suplemento N.º 11 contiene información sobre los buques cableros utilizados en diversos países.

El suplemento N.º 18 contiene información sobre cables submarinos utilizados en aguas profundas.

Recomendación G.631

TIPOS DE CABLES SUBMARINOS QUE SE UTILIZARÁN PARA SISTEMAS CON FRECUENCIAS DE LÍNEA INFERIORES A UNOS 45 MHz

(Ginebra, 1976)

El CCITT,

reconociendo

que las complicaciones especiales que plantea la reparación de los cables en el caso de sistemas por cable submarino tendidos en aguas profundas, es decir, a profundidades en que no es necesario utilizar cables armados, justifican medidas tendientes a reducir el número de tipos de cable que los buques cableros puedan tener que reparar;

considerando, al propio tiempo

que los proyectistas de sistemas por cable submarino necesitan cierto grado de libertad en la elección del cable para obtener un precio de coste general óptimo por unidad de longitud para cada sistema;

reconociendo

que las características más importantes para determinar si dos cables diferentes pueden conectarse debidamente entre sí son las siguientes:

- el diámetro interior del conductor exterior,
- la impedancia característica del cable,

recomienda

que, en los sistemas por cable submarino que empleen frecuencias de línea de hasta 45 MHz, el cable utilizado en las secciones en aguas profundas cumpla los límites indicados en el cuadro 1/G.631.

CUADRO 1/G.631

Diámetro interior del conductor exterior	de 25,0 a 25,5 mm	de 37,0 a 38,5 mm	43,2 mm
Impedancia característica	de 43 a 46 Ω	a) de 53 a 54 Ω b) de 60 a 62 Ω	a) de 49 a 50 Ω b) de 53 a 54 Ω c) de 60 a 62 Ω

6.4 Guiaondas

Recomendación G.641

DIÁMETROS DE LOS GUIAONDAS

(Ginebra, 1976)

El CCITT,

considerando

(a) que los guiaondas de gran diámetro tienen la ventaja de una atenuación básica reducida y permiten separaciones mayores entre los repetidores en las rutas relativamente rectas, pero su fabricación es más costosa y su tendido más dificultoso;

(b) que los guiaondas de pequeño diámetro son más baratos, más fáciles de curvar y de tendido menos dificultoso (lo que les hace más interesantes para las zonas urbanas y en los terrenos accidentados), pero exigen una separación menor entre los repetidores;

(c) que la determinación del diámetro óptimo de un guiaondas para un caso concreto es un problema complejo que obliga a analizar detalladamente la ruta considerada, los gastos de fabricación y de tendido de los diversos tipos y diámetros posibles de guiaondas, el costo de los tipos de repetidores requeridos y el número de éstos, y los objetivos globales de fiabilidad, y

(d) que conviene reducir al mínimo una proliferación antieconómica, normalizando para ello un pequeño número de diámetros de guiaondas,

recomienda

que se elija, según convenga, el diámetro interior de un guiaondas entre los de la serie de 30, 40, 50, 51, 60 y 70 mm.

6.5 Cables de fibra óptica

Recomendación G.651

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 μm

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando que

- (a) los cables de fibra óptica multimodo de índice gradual se utilizan ampliamente en las redes de telecomunicaciones;
- (b) las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir fibras multimodo que difieran en:
 - la naturaleza de su material,
 - las características geométricas,
 - la región (o regiones) de longitud de onda de trabajo,
 - las características de transmisión y ópticas,
 - los aspectos mecánicos y ambientales;
- (c) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras multimodo cuando hayan progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica,

recomienda

una fibra multimodo de índice gradual que puede ser utilizada en la región de 850 nm, o en la región de 1300 nm, o bien en ambas regiones de longitudes de onda simultáneamente.

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Sus características geométricas, ópticas y de transmisión se describen más adelante.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación se exponen en el anexo A y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B.

Los anexos A y B podrán convertirse en Recomendaciones separadas a medida que se adopten otras Recomendaciones sobre fibras multimodo.

1 Características de la fibra

En este § 1 se tratan aquellas características que aseguran la interconexión de las fibras con pérdidas bajas y aceptables.

En este punto sólo se recomiendan características intrínsecas de la fibra (que no dependen de la fabricación del cable). Éstas serán igualmente aplicables a fibras individuales, fibras incorporadas en un cable y enrollada en una bobina, y a fibras en cable instalado.

1.1 Características geométricas de la fibra

1.1.1 Diámetro del núcleo

El valor nominal recomendado del diámetro del núcleo es 50 μm .

La desviación del diámetro del núcleo no debe exceder los límites de $\pm 6\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

1.1.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm .

La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

1.1.3 Error de concentricidad

Se recomienda que el error de concentricidad sea inferior al 6%.

1.1.4 *No circularidad*

1.1.4.1 *No circularidad del núcleo*

Se recomienda que la no circularidad del núcleo sea inferior al 6%.

1.1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

Se recomienda que la no circularidad del revestimiento sea inferior al 2%.

1.2 *Propiedades ópticas de la fibra*

1.2.1 *Perfil del índice de refracción*

Se espera que los perfiles del índice de refracción de las fibras a las que se refiere esta Recomendación sean casi parabólicos.

1.2.2 *Apertura numérica*

El valor óptimo de la apertura numérica (AN) dependerá de la aplicación particular para la cual ha de utilizarse la fibra y en particular de la eficacia requerida del acoplamiento de la fuente, de la mayor atenuación debida a los efectos de la microflección que pueden tolerarse y de la respuesta global requerida en banda de base.

Los valores empleados corrientemente en la práctica se encuentran en la gama de 0,18 a 0,24.

Cualquiera que sea el valor real que se emplee, éste no deberá diferir del valor nominal elegido en más de 0,02.

1.3 *Propiedades de los materiales de la fibra*

1.3.1 *Materiales de la fibra*

Deben indicarse las sustancias utilizadas en la fabricación de la fibra.

Nota – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

1.3.2 *Materiales protectores*

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

2 **Especificaciones de los largos de fabricación**

Como las características geométricas y ópticas de las fibras son apenas afectadas por el proceso de cableado, lo recomendado en este § 2 se refiere principalmente a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las características de transmisión dependen en gran medida de la longitud de onda utilizada para transportar la información.

Las condiciones ambientales y de prueba son capitales y se describen en las directrices sobre métodos de pruebas.

La distribución de probabilidad estadística de las características de transmisión de las fibras dependerá del diseño y de los procedimientos de fabricación. En consecuencia, al especificar los límites de las características de transmisión se deberá tener en cuenta dicha distribución. Por ejemplo, en el caso de ciertas aplicaciones, puede suceder que un límite particular no abarque el 100% de la producción y que, de hecho, represente tan solo una pequeña parte de la producción total. El aspecto económico desempeñará un papel importante en la especificación de los límites para las aplicaciones particulares.

2.1 *Coefficiente de atenuación*

Los cables de la fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen generalmente coeficientes de atenuación inferiores a 4 dB/km en la región de longitudes de onda de 850 nm y a 2 dB/km en la de 1300 nm.

Nota 1 – Los valores más bajos de coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación de la composición de la fibra y del diseño de la fibra y el cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 2 y 2,5 dB/km en la región de 850 nm y entre 0,5 y 0,8 dB/km en la de 1300 nm.

Nota 2 – En ciertos casos, las fibras podrían utilizarse en ambas regiones de longitudes de onda.

2.2 *Respuesta en banda de base*

La respuesta en banda de base comprende los efectos de distorsión modal y de dispersión cromática. Para algunas aplicaciones, los efectos de dispersión cromática son insignificantes y pueden pasarse por alto.

La respuesta en banda de base se presenta en el dominio de la frecuencia. Las Administraciones que deseen utilizar el dominio del tiempo podrán hacerlo mediante operaciones matemáticas. Para este propósito se debe disponer de la respuesta en amplitud y en fase.

Por convenio, la respuesta en banda de base está referida linealmente a 1 km.

2.2.1 *Respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal*

La respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal se especifica en la forma de valor de anchura de banda entre los puntos ópticos a -3 dB (eléctricos a -6 dB) de la característica de amplitud total en función de la frecuencia corregida a efectos de la dispersión cromática. También se debiera presentar una curva más completa de la respuesta en la anchura de banda total.

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación generalmente tienen anchuras de banda de distorsión modal normalizadas superiores a 200 MHz · km en las regiones de 850 nm y de 1300 nm, aunque no necesariamente al mismo tiempo.

Nota 1 – Los valores superiores de la anchura de banda de distorsión modal normalizada dependen del proceso de fabricación, de la composición de la fibra y del diseño de la fibra y el cable; se han obtenido valores superiores a 1000 MHz · km en la región de 850 nm y de 2000 MHz · km en la región de 1300 nm.

Nota 2 – En ciertos casos, las fibras podrían utilizarse en ambas regiones de longitudes de onda.

2.2.2 *Anchura de banda de distorsión modal: respuesta de fase*

No se recomienda ningún valor, pues la información de la respuesta de fase sólo se requiere en casos especiales.

2.2.3 *Dispersión cromática*

Cuando se le solicite, el fabricante de las fibras ópticas deberá indicar los valores de coeficiente de dispersión cromática total del tipo de fibra en la región (o regiones) de longitudes de onda de trabajo. El método de prueba figura en la sección V del anexo B a la Recomendación G.652.

Nota 1 – En el caso de fibras multimodo, el mecanismo de dispersión cromática predominante es la dispersión debida al material.

Nota 2 – Valores típicos del coeficiente de dispersión cromática en fibras ópticas de sílice de gran pureza son los siguientes:

Longitud de onda (nm)	Coficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)]
850	≤ 120
1300	≤ 6

3 Secciones elementales de cable

Según se define en la Recomendación G.601 (término 1008), una sección elemental de cable incluye un cierto número de largos de fabricación empalmados. En el § 2 de esta Recomendación se indican los requisitos aplicables a los largos de fabricación. Los parámetros de transmisión en secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo la calidad de los distintos largos de cable sino también, entre otras cosas, factores tales como los empalmes, los conectores (si los hay) y los efectos de acoplamiento de modos que pueden afectar a la anchura de banda y a la atenuación.

Además, tanto las características de transmisión de las fibras en largos de fabricación, como los empalmes, los conectores, etc., tendrán una cierta distribución de probabilidad que, con frecuencia, debe ser tenida en cuenta si se desea obtener los diseños más económicos. Los siguientes puntos de esta sección deben ser leídos teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

3.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

donde:

α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra en la sección elemental de cable,

L_n = longitud de la n -ésima fibra,

m = número total de fibras concatenadas en la sección elemental de cable,

a_s = pérdida media por empalme,

x = número de empalmes en la sección elemental de cable,

a_c = pérdida media de los conectores de línea,

y = número de conectores de línea en la sección elemental de cable (en su caso).

Nota 1 – Las pérdidas a_s y a_c de los empalmes y conectores de línea se definen por lo general en condiciones de equilibrio de distribución modal. En la explotación real pueden producirse diferencias apreciables.

Nota 2 – La fórmula anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipos.

Nota 3 – En el diseño global de un sistema debe preverse un margen para el cable en previsión de futuras modificaciones de la configuración de éste (empalmes adicionales, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones debidas a la temperatura, etc.).

Nota 4 – Se toma la pérdida media para la pérdida de empalmes y conectores. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de estos parámetros.

3.2 Respuesta en banda base (anchura de banda óptica global a -3 dB)

La respuesta en banda base se da en el dominio de la frecuencia e incluye los efectos de la distorsión modal y de la dispersión cromática, y se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$B_T = \left[B_{\text{modal}}^{-2} + B_{\text{cromática}}^{-2} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

donde:

B_T = la anchura de banda global (incluida la distorsión modal y la dispersión cromática),

B_{modal} = la anchura de banda de distorsión modal,

$B_{\text{cromática}}$ = la anchura de banda cromática (véase la nota 3).

Nota 1 – Se supone que la respuesta en banda base de distorsión modal de la fibra y el espectro de la fuente tienen una distribución gaussiana.

Nota 2 – Para algunas aplicaciones, el efecto de la dispersión cromática es insignificante, en cuyo caso ésta puede despreciarse.

Nota 3 – La anchura de banda cromática total, $B_{\text{cromática}}$, es inversamente proporcional al largo de la sección y, suponiendo que el espectro de la fuente es gaussiano, se puede expresar así:

$$B_{\text{cromática}} \text{ (MHz)} = (\Delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L/0,44)^{-1}$$

donde:

$\Delta\lambda$ = anchura espectral de radiación entre puntos al 50% de amplitud (nm),

$D(\lambda)$ = coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)],

L = largo de sección (km).

3.2.1 Anchura de banda de distorsión modal

Los valores de la anchura de banda de distorsión modal en una sección elemental de cable se obtienen de la correspondiente especificación de la fibra. No obstante, es posible que la anchura de banda de distorsión modal, de la sección elemental de cable no sea una adición lineal de las respuestas individuales, debido al acoplamiento de modos y a otros efectos que se producen en los empalmes y, algunas veces, a lo largo de la fibra.

La anchura de banda de distorsión modal para una sección elemental de cable viene dada por:

$$B_{\text{modal total}} = \left\{ \sum_1^x B_{\text{modal } n}^{\frac{-1}{\gamma}} \right\}^{-\gamma}$$

donde

$B_{\text{modal total}}$ = anchura de banda de distorsión modal total de una sección elemental de cable,

$B_{\text{modal } n}$ = anchura de banda de distorsión modal, en MHz, de la n -ésima fibra de una sección elemental de cable,

x = número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable,

γ = factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal.

Nota – El valor de γ , factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal, está generalmente comprendido entre 0,5 y 1,0 dependiendo su valor preciso de los efectos del acoplamiento de modos en los empalmes, la compensación de perfil alfa, la longitud de onda de anchura de banda máxima, etc. En determinadas circunstancias, pueden obtenerse también valores menores. Para una fibra dada, el valor apropiado de γ que ha de aplicarse puede hallarse empíricamente y, normalmente, puede obtenerse del fabricante del cable o de las fibras.

ANEXO A

(a la Recomendación G.651)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

A.1 método de prueba alternativo (MPA)

Método en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica de una manera acorde con la definición de esta característica y da resultados reproducibles que pueden relacionarse con los del método de prueba de referencia y con el uso práctico.

A.2 coeficiente de atenuación

En una fibra óptica, atenuación por unidad de longitud.

Nota – La atenuación es la tasa de decrecimiento de la potencia óptica media con respecto a la distancia a lo largo de la fibra y viene definida por la ecuación:

$$P(z) = P(0) 10^{-(\alpha z/10)}$$

donde

$P(z)$ = potencia a la distancia z a lo largo de la fibra,

$P(0)$ = potencia en $z = 0$,

α = coeficiente de atenuación en dB/km si z viene en km.

A partir de esta ecuación se obtiene el coeficiente de atenuación:

$$\alpha = - \frac{10 \log_{10} [P(z)/P(0)]}{z}$$

Esto presupone que α es independiente de z .

A.3 anchura de banda (de una fibra óptica)

Valor numéricamente igual a la menor de las frecuencias para las que la magnitud de la función de transferencia de banda base de una fibra óptica decrece hasta una fracción especificada, generalmente -3 dB entre puntos ópticos (-6 dB entre puntos eléctricos), del valor para la frecuencia cero.

Nota — La anchura de banda está limitada por varios mecanismos: en el caso de las fibras multimodo los principales son la distorsión modal y la dispersión cromática.

A.4 dispersión cromática

Diseminación de un impulso luminoso causada en una fibra óptica por las diferentes velocidades de grupo de las diferentes longitudes de onda que componen el espectro de la fuente.

Nota — La dispersión cromática puede deberse a una o más de las siguientes contribuciones: dispersión debida al material, dispersión debida al guiaoondas, dispersión debida al perfil de índice. La dispersión por polarización no produce efectos apreciables en las fibras circularmente simétricas.

A.5 coeficiente de dispersión cromática

Dispersión cromática por unidad de anchura espectral de la fuente y unidad de longitud de la fibra. Suele expresarse en ps/(nm · km).

A.6 revestimiento

Material dieléctrico de una fibra óptica que rodea al núcleo.

A.7 supresor de modos de revestimiento

Dispositivo que favorece la conversión de los modos de revestimiento en modos de radiación.

A.8 núcleo

La región central de una fibra óptica, a través de la cual se transmite la mayor parte de la potencia óptica.

A.9 superficie del núcleo

En una sección transversal de una fibra óptica, superficie en la cual el índice de refracción, en todas partes (salvo alguna eventual depresión del índice) es mayor que el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento en una fracción determinada de la diferencia entre el índice de refracción máximo del núcleo y el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

Nota — La superficie del núcleo es la superficie de la menor sección transversal de una fibra, excluida toda depresión en el índice, comprendida en el lugar geométrico de los puntos en que el índice de refracción n_3 viene dado por:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2) \text{ (véase la figura A-1/G.651)}$$

donde:

n_1 = máximo índice de refracción del núcleo de la fibra,

n_2 = índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento de la fibra,

k = es una constante.

Nota — A menos que se especifique otra cosa, se supone un valor de k de 0,05.

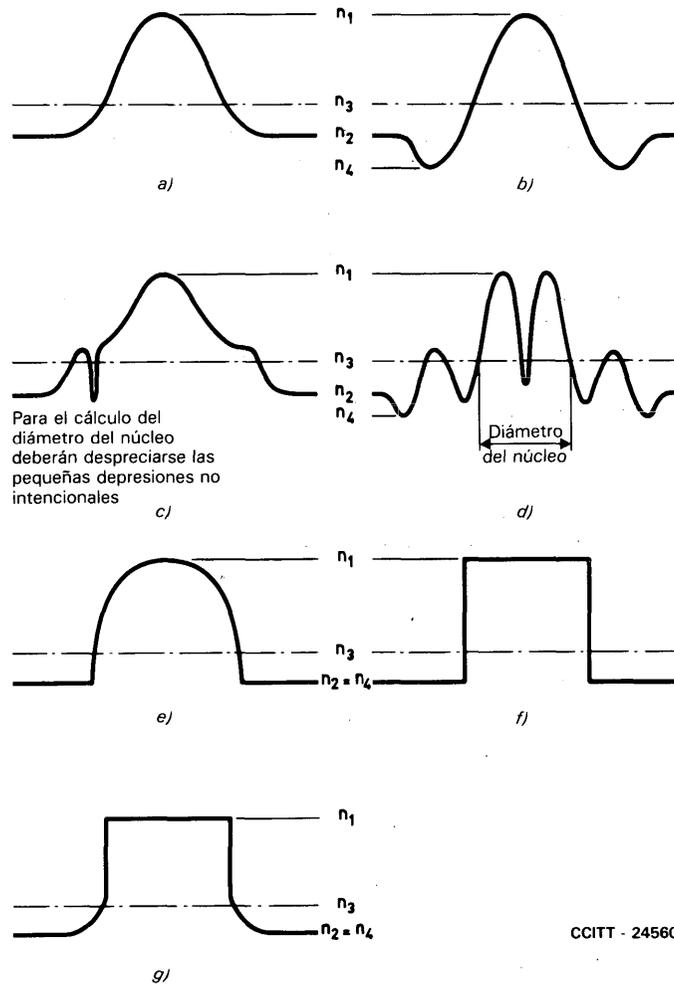


FIGURA A-1/G.651

Algunos perfiles del índice de refracción

A.10 centro del núcleo (del revestimiento)

En una sección transversal de una fibra óptica, es el centro del círculo que se ajusta mejor al límite exterior de la superficie del núcleo (o revestimiento).

Nota 1 – Estos centros pueden no coincidir.

Nota 2 – Debe especificarse el método de mejor ajuste.

A.11 diámetro del núcleo (o del revestimiento)

Diámetro del círculo que define el centro del núcleo (o del revestimiento).

A.12 desviación del diámetro del núcleo (o del revestimiento)

Diferencia entre los valores real y nominal del diámetro del núcleo (o del revestimiento).

A.13 error de concentricidad del núcleo/revestimiento

Distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento dividida por el diámetro del núcleo.

A.14 campo de tolerancia del núcleo (o del revestimiento)

En una sección transversal de una fibra óptica, región entre el círculo que circunscribe la superficie del núcleo (o del revestimiento) y el mayor de los círculos concéntricos con el primero, que se ajustan a la superficie del núcleo (o del revestimiento). Ambos círculos tendrán el mismo centro que el núcleo (o el revestimiento).

A.15 plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos

Plantilla constituida por cuatro círculos concéntricos que se aplica al diagrama de radiación de campo próximo de la fibra.

Nota — La plantilla se utiliza normalmente como comprobación global de la aceptabilidad de los diversos parámetros geométricos de la fibra en un proceso simple.

A.16 plantilla de índice de refracción de cuatro círculos concéntricos

Plantilla constituida por cuatro círculos concéntricos que se aplica al perfil del índice de refracción completo de la fibra.

Nota — La plantilla se utiliza normalmente como comprobación global de la aceptabilidad de los diversos parámetros geométricos de la fibra en un proceso simple.

A.17 máxima apertura numérica teórica

Valor teórico de la apertura numérica calculado a partir de los valores del índice de refracción del núcleo y del revestimiento, y dado por la fórmula:

$$AN_{t\text{máx}} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

donde

n_1 = índice de refracción del núcleo,

n_2 = índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

Nota — La relación entre AN (véase A.21) y $AN_{t\text{máx}}$ se da en la sección I del anexo B, § B.2.2.

A.18 filtro de modos

Dispositivo diseñado para aceptar o rechazar uno o varios modos determinados.

A.19 mezclador de modos

Dispositivo para inducir la transferencia de energía entre modos en una fibra óptica, mezclando efectivamente los modos.

Nota — Se utiliza frecuentemente para conseguir una distribución de modos que sea independiente de las características de la fuente.

A.20 no circularidad del núcleo (superficie del revestimiento)

Diferencia entre los diámetros de los dos círculos definidos por el campo de tolerancia del núcleo (superficie del revestimiento) dividida por el diámetro del núcleo (superficie del revestimiento).

A.21 apertura numérica

La apertura numérica AN es el seno del ángulo mitad del vértice del cono de rayos más grande que puede entrar o salir del núcleo de una fibra óptica, multiplicado por el índice de refracción del medio en que se encuentra el vértice del cono.

A.22 **superficie de referencia**

Superficie cilíndrica de una fibra óptica a la que se hace referencia al efectuar las uniones.

Nota – La superficie de referencia suele ser el revestimiento o la superficie del recubrimiento primario. Sólo en circunstancias poco frecuentes podría ser la superficie del núcleo.

A.23 **método de prueba de referencia (MPR)**

Método de prueba en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica estrictamente de acuerdo con la definición de esta característica, y que da resultados exactos, reproducibles y relacionables con el uso práctico.

A.24 **perfil del índice (de refracción)**

Distribución del índice de refracción a lo largo de un diámetro de una fibra óptica.

ANEXO B

(a la Recomendación G.651)

Métodos de prueba

Por regla general, se indican en este anexo el método de prueba de referencia y los métodos de prueba alternativos para cada parámetro y se prevé que tanto el MPR como los MPA sean adecuados para fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, al emplear un MPA puede haber alguna discrepancia, por lo que se recomienda que se emplee el MPR como técnica destinada a proporcionar resultados de medición definitivos.

Sección I – *Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la medición de parámetros geométricos y ópticos*

B.1 *Introducción*

B.1.1 *Consideraciones generales*

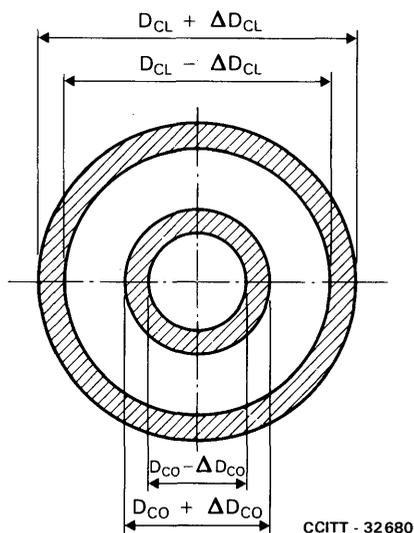
Se supone que los parámetros geométricos y ópticos que son objeto de esta Recomendación, se medirán solamente en fábrica o en los laboratorios de ciertas Administraciones que deseen verificarlos con miras al diseño de sistemas o para otros fines. Por tanto, se ha previsto que las mediciones se efectuarán ya sea en muestras constituidas por largos de fibra o en muestras tomadas de largos de fabricación de cables.

El diámetro y la no circularidad del núcleo se definen utilizando como base el perfil del índice de refracción. Los parámetros restantes pueden derivarse a partir del perfil del índice de refracción. En consecuencia, todos los parámetros geométricos y ópticos que son objeto de esta Recomendación y sus tolerancias en su caso, podrían obtenerse mediante una sola prueba básica.

B.1.1.1 *Campo de tolerancia de cuatro círculos*

Un modo sencillo de verificar los parámetros geométricos de la fibra es el método del «campo de tolerancia de cuatro círculos», que no es un requisito adicional impuesto a las características geométricas de la fibra sino otra comprobación global de las mismas. Si aparece cualquier discrepancia entre los resultados de este método y los de la comprobación de las diferentes características individuales, la referencia será esta última.

El método del «campo de tolerancia de cuatro círculos» se basa en la plantilla representada en la figura B-1/G.651, donde los diámetros de los dos círculos concéntricos correspondientes al núcleo (cuyo diámetro es D_{co}) son respectivamente $D_{co} - 4 \mu\text{m}$ y $D_{co} + 4 \mu\text{m}$ y los diámetros de los dos círculos concéntricos correspondientes al revestimiento (cuyo diámetro es D_{CL}) son respectivamente $D_{CL} - 5 \mu\text{m}$ y $D_{CL} + 5 \mu\text{m}$. Este método puede aplicarse a los datos obtenidos por el método de prueba de referencia (plantilla del índice de refracción de cuatro círculos concéntricos) o por el método de prueba alternativo (plantilla del campo próximo de cuatro círculos concéntricos).



- D_{CO} Diámetro nominal del núcleo
- ΔD_{CO} Tolerancia del círculo relativo al núcleo = $4 \mu\text{m}$
- D_{CL} Diámetro nominal del revestimiento
- ΔD_{CL} Tolerancia del círculo relativo al revestimiento = $5 \mu\text{m}$

FIGURA B-1/G.651

B.1.1.2 Factor de calidad intrínseca

La AN teórica máxima, el diámetro del núcleo, el error de concentricidad y la no circularidad del núcleo se desvían simultáneamente con respecto a sus valores nominales en formas tales que pueden sumarse o compensarse unas con otras. Para tener debidamente en cuenta estos efectos se ha calculado una pérdida teórica por empalme utilizando los valores de estos parámetros geométricos y ópticos medidos por métodos de prueba existentes. Puede suponerse una distribución gaussiana o en régimen permanente de la potencia en función del ángulo. El factor de calidad intrínseca (FCI) puede calcularse como la media de las pérdidas teóricas por empalme en los dos sentidos de transmisión cuando la fibra sometida a prueba está empalmada a una fibra de características nominales con una desalineación nula de las superficies de referencia. Un valor de FCI de 0,27 dB es compatible con las tolerancias individuales recomendadas en el § 1. Si aparece cualquier discrepancia entre los resultados obtenidos con el método FCI y los de la comprobación de las diferentes características, la referencia será esta última.

B.1.2 Características geométricas

Los diámetros del núcleo y del revestimiento de la fibra sometida a prueba, así como los centros del núcleo y del revestimiento, se pueden determinar a partir de un número adecuado de puntos, distribuidos convenientemente en la frontera núcleo/revestimiento, y en la superficie exterior del revestimiento, respectivamente.

Si se adopta un explorador de barrido por cuadrículas, se debe seleccionar un número mayor de puntos a fin de garantizar una distribución lo suficientemente regular.

El error de concentricidad se puede calcular a partir de la distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento.

Las no circularidades del núcleo y del revestimiento se pueden determinar a partir del campo de tolerancia.

B.2 Métodos de prueba de referencia para parámetros geométricos y método de prueba alternativo para la apertura numérica: técnica del campo próximo refractado

B.2.1 Consideraciones generales

La medición del campo próximo refractado es simple, segura y da directamente la variación del índice de refracción en toda la sección transversal de la fibra (núcleo y revestimiento). La medición puede hacerse con buena resolución y calibrarse para obtener valores absolutos del índice de refracción.

En la figura B-2a/G.651 se muestra un diagrama esquemático de la medición. La técnica consiste en la exploración de un punto luminoso enfocado a través del extremo de la fibra. El dispositivo óptico de inyección se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra. El extremo de la fibra se sumerge en un líquido de índice ligeramente superior al del revestimiento. Parte de la luz es guiada por la fibra y el resto aparece como un cono hueco fuera de la fibra. Se coloca un disco sobre el eje del núcleo para asegurarse de que sólo llegue al detector la luz refractada. La salida del detector se amplifica y visualiza como eje y de un registrador $x-y$; la excitación del eje x se obtiene por control de la posición del punto luminoso enfocado en el extremo de la fibra. En la figura B-2b/G.651 se muestra un perfil de índice típico de una fibra multimodo de índice gradual.

La resolución óptica, y por tanto la posibilidad de resolver detalles del perfil, depende del tamaño del punto luminoso enfocado. Ésta depende de la apertura numérica de la lente de enfoque y del tamaño del disco. Sin embargo, la posición de los rasgos más acusados puede resolverse con una exactitud mucho mayor que ésta, según el tamaño del escalón en los sistemas motores por pasos, o según la exactitud del control de posición en los sistemas analógicos.

B.2.2 Apertura numérica y diferencia de índice de refracción

La apertura numérica teórica máxima se define como:

$$AN_{t\text{máx}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

La diferencia de índice se define como:

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

La diferencia de índice relativa se define como:

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$$

donde:

n_1 = índice de refracción máximo del núcleo de la fibra,

n_2 = índice de refracción de la región más profunda del revestimiento.

Los valores de n_1 y n_2 pueden determinarse por la técnica del campo próximo refractado, y a partir de ellos pueden calcularse $AN_{t\text{máx}}$, Δn y Δ .

La máxima apertura numérica teórica $AN_{t\text{máx}}$ determinada de esta forma puede ser superior (ordinariamente del 5% al 7%) a la apertura numérica AN por el MPR.

B.2.3 Equipo de prueba

En la figura B-3/G.651 se muestra un diagrama esquemático del equipo de prueba.

B.2.3.1 Fuente

Se necesita un láser estable con una potencia de algunos milivatios en el modo TEM₀₀.

Puede utilizarse un láser HeNe, cuya longitud de onda es de 633 nm, pero debe aplicarse un factor de corrección a los resultados para su extrapolación a diferentes longitudes de onda. Debe señalarse que la medición a 633 nm puede no dar una información completa para las longitudes de onda superiores; en particular, las impurezas no uniformes de una fibra pueden afectar a la corrección.

Se introduce una placa de un cuarto de onda para cambiar la polarización del haz de línea circular, pues la reflectividad de la luz en un interfaz aire-vidrio depende mucho del ángulo y de la polarización.

Un hueco de alfiler en el foco de la lente 1 actúa como filtro espacial.

B.2.3.2 Condiciones de inyección

El dispositivo óptico de inyección, que se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra, enfoca un haz luminoso sobre el extremo plano de la fibra. El eje óptico del haz luminoso no debe estar a más de 1° del eje de la fibra. La resolución del equipo la determina el tamaño del punto enfocado, que debe ser lo más pequeño posible para hacer máxima la resolución, p.ej., inferior a 1,5 μm . El equipo permite la exploración del punto enfocado a lo largo del diámetro de la fibra.

B.2.3.3 Célula líquida

El líquido en la célula debe tener un índice de refracción algo mayor que el del revestimiento de la fibra.

B.2.3.4 *Detección*

La luz refractada se capta y se lleva al detector de cualquier manera conveniente, pero debe captarse toda la luz refractada. Puede determinarse por cálculo el tamaño necesario del disco y su posición a lo largo del eje central.

B.2.4 *Preparación de la fibra sometida a prueba*

Se requiere un largo de fibra de 1 m aproximadamente.

Se quita el recubrimiento primario de la fibra en la sección sumergida en la célula líquida.

Los extremos de la fibra deben estar limpios y tener una superficie suave, y hallarse en posición perpendicular al eje de la fibra.

B.2.5 *Procedimiento*

Véase el diagrama esquemático del aparato de prueba (figura B-3/G.651).

B.2.5.1 *Representación del perfil de la fibra*

El extremo de inyección de la fibra que ha de medirse se sumerge en una célula líquida cuyo índice de refracción es ligeramente superior al del revestimiento de la fibra. La fibra se retroilumina con la luz de una lámpara de tungsteno. Las lentes 2 y 3 producen una imagen enfocada de la fibra.

A la vez que se ajusta la posición de la lente 3 para centrar y enfocar la imagen de la fibra, el haz láser se centra y enfoca simultáneamente en la fibra.

Se centra el disco en el cono de salida. Con fibras multimodo, el disco se dispone sobre el eje óptico de forma que sólo bloquee los modos de propagación de fuga. Los modos refractados que pasan por el disco se captan y enfocan en un fotodiodo.

Se hace desplazar el punto láser enfocado sobre el extremo de la fibra y se obtiene directamente una representación de la variación del índice de refracción de ésta.

B.2.5.2 *Calibración del equipo*

El equipo se calibra con la fibra fuera de la célula líquida. Durante la medición, el ángulo del cono luminoso varía según el índice de refracción visto en el punto de entrada a la fibra (de ahí la variación de la potencia que atraviesa el disco). Una vez sacada la fibra y conocidos el índice del líquido y el espesor de la célula, puede simularse este cambio del ángulo desplazando el disco a lo largo del eje óptico. Desplazando el disco a cierto número de posiciones determinadas de antemano puede trazarse a escala el perfil en función de índice relativo. El índice absoluto, es decir, n_1 y n_2 , sólo puede determinarse si se conoce con exactitud el índice del revestimiento o del líquido a la longitud de onda y a la temperatura en que se efectúa la medición.

B.2.6 *Presentación de los resultados*

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) Disposición del montaje de prueba y procedimiento de corrección de la longitud de onda, así como indicación de la técnica de exploración utilizada.
- b) Identificación de la fibra.
- c) Según los requisitos de la especificación:
 - i) perfiles a través de los centros del núcleo y del revestimiento, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - ii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del núcleo, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - iii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del revestimiento, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - iv) exploración de barrido a través de toda la fibra, si se adopta;
 - v) diámetro del núcleo¹⁾;
 - vi) diámetro del revestimiento¹⁾;
 - vii) error de concentricidad núcleo/revestimiento;
 - viii) no circularidad del núcleo;

¹⁾ Véase el apéndice I.

- ix) no circularidad del revestimiento;
 - x) apertura numérica teórica máxima: $AN_{r\text{máx}}$;
 - xi) diferencia de índice: Δn ;
 - xii) diferencia de índice relativa: Δ .
- d) Indicación de la exactitud y la repetibilidad.
- e) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

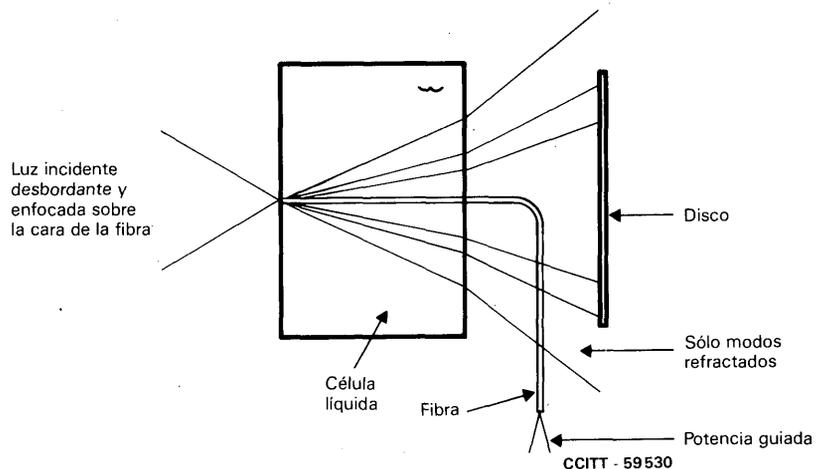


FIGURA B-2a/G.651

Técnica del campo próximo refractado – Diagrama esquemático

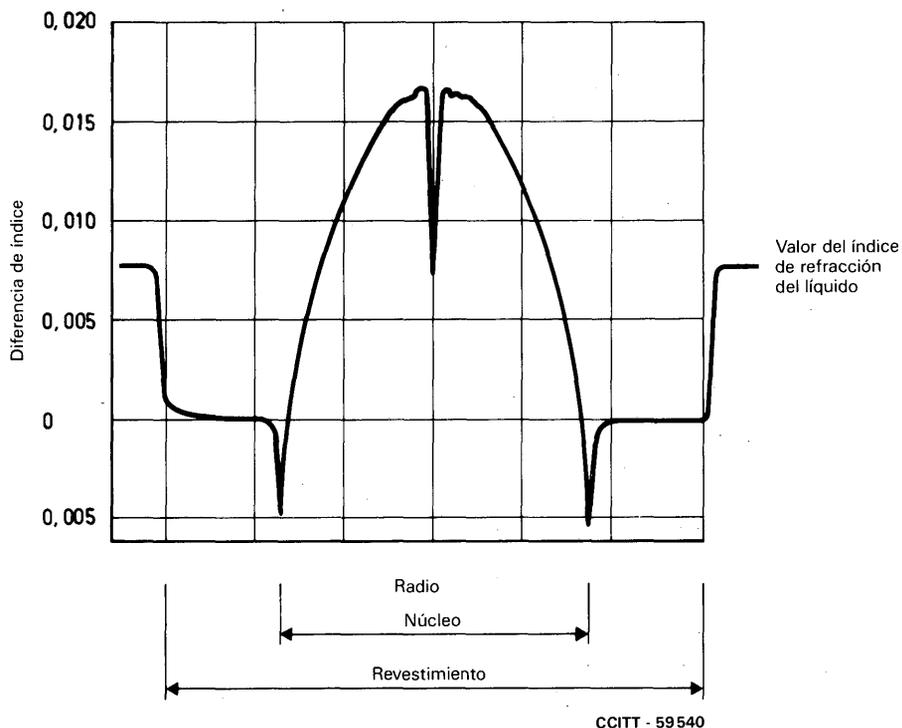


FIGURA B-2b/G.651

Perfil del índice típico de una fibra de índice gradual obtenido por la técnica del campo próximo refractado

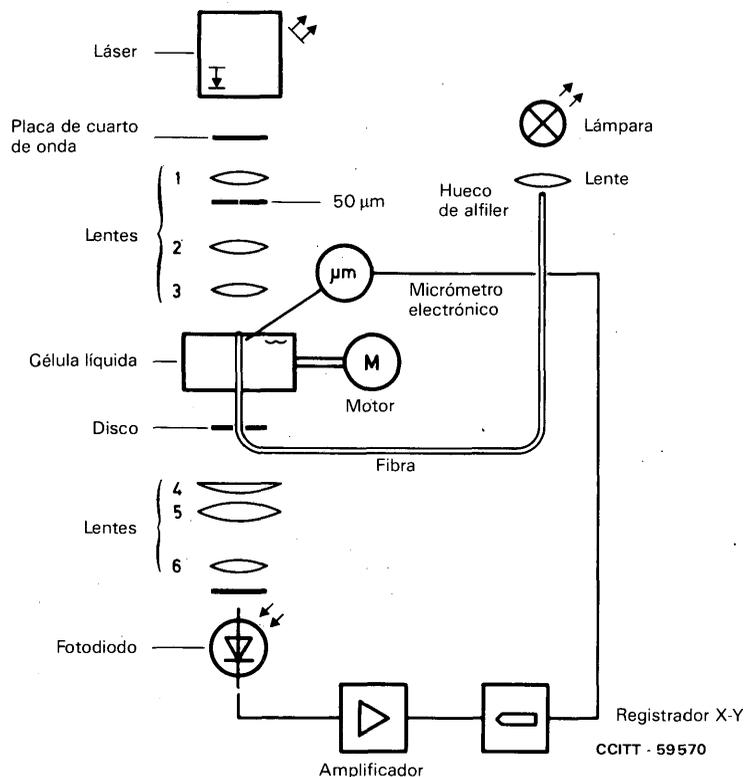


FIGURA B-3/G.651

Disposición típica del montaje de prueba con la técnica del campo próximo refractado

B.3 Método de prueba alternativo para parámetros geométricos: técnica de campo próximo transmitido

B.3.1 Consideraciones generales

Puede aplicarse la técnica de campo próximo para la medición de las características geométricas y del perfil del índice de refracción de las fibras ópticas multimodo. Se efectúan tales mediciones de una manera conforme a la definición, y los resultados podrán reproducirse, y relacionarse con el método de prueba de referencia y el uso en la práctica.

La medición se basa en la exploración de una imagen magnificada del extremo de salida de la fibra que se prueba, sobre una sección transversal donde está colocado el detector.

Cuando se miden las características geométricas de la fibra, puede aplicarse la plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos a una imagen agrandada de la fibra detectada por métodos de evaluación objetiva, apropiados para lograr un alto grado de exactitud y reproducibilidad. Se señala, en particular, que el diámetro del núcleo ha de medirse teniendo en cuenta el mismo factor adoptado para el método de prueba de referencia.

B.3.2 Aparatos de prueba

En la figura B-4/G.651 se representa un esquema del aparato de prueba.

B.3.2.1 Fuente luminosa

La fuente luminosa será incoherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que pueda realizarse el procedimiento de medición completo. Se registrará la anchura espectral al 50%. Si es necesario, se utilizarán una segunda fuente luminosa para iluminar el revestimiento.

B.3.2.2 *Condiciones de inyección*

La óptica de inyección, que se dispondrá de modo que desborde sobre la sección de la fibra, aplicará un haz luminoso a un foco situado en el extremo plano de entrada de la fibra.

En el caso de las fibras de 50/125 μm de índice gradual, las condiciones de inyección desbordante se obtienen con un cono luminoso cuya anchura entre puntos de amplitud mitad medida desde el campo próximo sea superior a 70 μm y cuya anchura en la apertura numérica (AN), medida desde el campo lejano sea mayor que una AN de 0,3.

B.3.2.3 *Supresor de modos propagados por el revestimiento*

Se empleará un supresor adecuado de los modos propagados por el revestimiento. Este dispositivo suprime la potencia óptica que se propaga por el material que envuelve al núcleo y asegura que todos los modos de propagación de fuga serán eliminados de la fibra. Cuando se midan las características geométricas del revestimiento únicamente, el supresor de modo de los propagados por el revestimiento no podrá estar presente.

B.3.2.4 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica que ha de medirse. Se retirará el recubrimiento primario de la sección de la fibra insertada en el supresor de modos. Los extremos de la fibra deberán estar limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra.

Nota – Esta medición puede efectuarse en pedazos muy cortos de fibra (por ejemplo, unos centímetros). En este caso, las condiciones de inyección se ajustarán para obtener una intensidad uniforme en el revestimiento por debajo del 15% de la intensidad luminosa máxima en el núcleo.

B.3.2.5 *Dispositivo óptico de magnificación*

El dispositivo óptico de magnificación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo un objetivo de microscopio) que magnifica el campo próximo de la salida del espécimen, y lo focaliza en el plano del detector de exploración. La apertura numérica y, por consiguiente, el poder de resolución del dispositivo óptico deberá ser compatible con la exactitud de medición requerida y no será inferior a 0,3. La magnificación se escogerá de modo que sea compatible con la resolución especial deseada, y se anotará.

B.3.2.6 *Detector*

Se utilizará un detector apropiado que permitirá obtener la intensidad punto a punto del diagrama de campo próximo magnificado. Por ejemplo, podrá emplearse cualquiera de las siguientes técnicas.

- a) fotodetector de exploración con abertura de «hueco de alfiler»;
- b) espejo de exploración con abertura de hueco de alfiler fija y fotodetector;
- c) vidicon de exploración, dispositivos acoplados por carga u otros dispositivos de reconocimiento de diagrama/intensidad.

El comportamiento del detector deberá ser lineal (o será linealizado) en toda la gama de intensidades observadas. La zona sensible del detector será pequeña con relación a la imagen ampliada del extremo de salida de la fibra, y se registrará.

B.3.2.7 *Amplificador*

Se utilizará un amplificador para aumentar el nivel de la señal. Su anchura de banda se escogerá según el tipo de exploración utilizado. Cuando se explora el extremo de salida de la fibra con sistemas mecánicos u ópticos, suele modularse la fuente óptica. Cuando se adopta este procedimiento, el amplificador deberá estar asociado a la frecuencia de modulación de la fuente. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.3.2.8 *Almacenamiento de datos*

Los datos medidos de la repartición de la intensidad de campo próximo pueden registrarse y presentarse en forma adecuada de conformidad con la técnica de exploración y los requisitos de la especificación.

B.3.3 *Procedimiento*

B.3.3.1 *Calibración de los equipos*

Deberá medirse la magnificación del sistema óptico explorando la longitud del espécimen, cuyas dimensiones se conocen ya con exactitud suficiente. Se registrará dicha magnificación.

B.3.3.2 Medición

El extremo de inyección de la fibra se alinearán con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alinearán con el eje óptico del dispositivo óptico de magnificación. La imagen focalizada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector, de conformidad con los requisitos de la especificación. La focalización se efectuará con la máxima exactitud, a fin de reducir los errores dimensionales debidos a la exploración de una imagen mal focalizada.

B.3.4 Presentación de los resultados

Se presentarán los siguientes detalles:

- a) configuración del montaje de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- b) características de inyección (dimensión y AN del punto de inyección);
- c) longitud de onda y anchura espectral al 50%;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) tipo de supresor de modos de revestimiento (en su caso);
- f) magnificación del equipo;
- g) tipo y dimensiones del detector de exploración;
- h) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (en caso necesario);
- i) indicación de la exactitud y repetibilidad;
- j) según los requisitos de la especificación:
 - i) perfiles a través de los centros del núcleo y del revestimiento;
 - ii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del núcleo;
 - iii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del revestimiento;
 - iv) diagrama de la exploración sobre toda la cara del extremo de la fibra, si se adopta;
 - v) parámetros dimensionales resultantes, como: diámetros del núcleo y del revestimiento²⁾, no circularidad del núcleo y del revestimiento, error de concentricidad núcleo/revestimiento, etc.

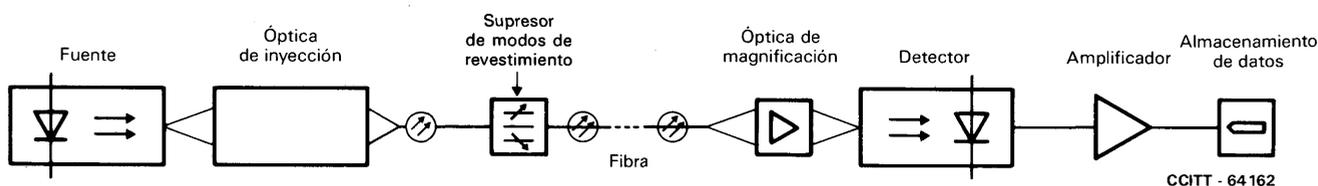


FIGURA B-4/G.651

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo

B.4 Método de prueba de referencia para la apertura numérica – Distribución en el campo lejano

B.4.1 Objetivo

Este método de medición se aplica a las fibras de índice gradual para determinar la apertura numérica midiendo la distribución de la luz en el campo lejano.

B.4.2 Preparación del espécimen

Se toma una muestra de unos 2 m de longitud en un extremo de la fibra que ha de medirse. La muestra ha de ser suficientemente recta para que no se produzcan pérdidas por flexión. Los extremos de la muestra deberán estar muy limpios, planos y perpendiculares al eje de la fibra.

²⁾ Véase el apéndice I.

B.4.3 Equipo

B.4.3.1 Fuente luminosa

Se empleará una fuente luminosa no coherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para completar el procedimiento de medición.

B.4.3.2 Detector

El detector tendrá una característica lineal en toda la gama de medición requerida. (La corriente de salida del detector deberá ser una función lineal de potencia luminosa recibida.)

B.4.3.3 Condiciones de inyección

Véase el § B.3.2.2.

B.4.3.4 Supresor de modos de revestimiento

Véase el § B.3.2.3.

B.4.3.5 Visualización

Por ejemplo, registrador XY, pantalla.

B.4.4 Procedimiento

B.4.4.1 Principio de la medición (figura B-5/G.651)

La intensidad radiante (potencia luminosa por unidad de ángulo sólido) se determina como una función del ángulo polar de un plano del eje de la fibra (diagrama de radiación). La distancia d entre el extremo de la muestra y el detector ha de ser grande en relación con el diámetro del núcleo de la fibra óptica.

Soluciones posibles:

- muestra fija, detector de gran superficie fijo;
- muestra fija, detector lineal de pequeña superficie desplazable;
- muestra lineal desplazable, detector de pequeña superficie fijo;
- muestra fija, detector de pequeña superficie con desplazamiento angular;
- extremo de la muestra giratorio, detector de pequeña superficie fijo.

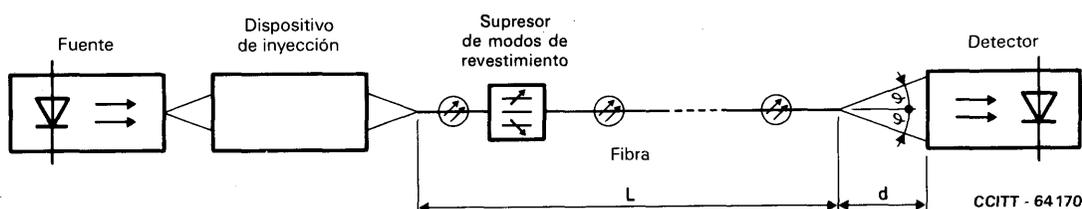


FIGURA B-5/G.651

Principio de medición de la distribución en el campo lejano transmitido

B.4.4.2 Preparación

Se fija la muestra en el portamuestras y se le inyecta la luz de conformidad con el § B.4.3.3.

B.4.4.3 Medición

La intensidad radiante se determina en función del ángulo polar en un plano del eje de la fibra.

B.4.5 Resultados

Las fibras tratadas en esta Recomendación tienen un perfil del índice de refracción casi parabólico. Por lo tanto, para las condiciones de inyección de § B.4.3.3 (distribución de modo uniforme), la curva de intensidad radiante en campo lejano puede aproximarse, en la región por encima del 10% de la intensidad máxima, por la siguiente parábola;

$$P(\varphi) = P(0) [1 - (\text{sen } \varphi / AN)^2]$$

Se determina entonces el ángulo φ por el punto de intersección de esta parábola con el eje de abscisas. Por lo general, basta con determinar el ángulo φ adoptando el 5% de la máxima intensidad radiante para el total de la curva de intensidad radiante.

La apertura numérica es:

$$AN = \text{sen } \varphi.$$

B.4.6 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración del montaje de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- b) características de inyección (dimensión y AN del cono de inyección);
- c) longitud de onda y anchura espectral;
- d) tipo de supresor de modos de revestimiento (si se utiliza);
- e) condiciones de exploración;
- f) identificación y longitud de la fibra;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- h) indicación de exactitud y repetibilidad;
- i) apertura numérica resultante.

APÉNDICE I

(a la sección I del anexo B a la Recomendación G.651)

En este apéndice se exponen los cálculos que pueden efectuarse para obtener las posiciones de los centros del núcleo y del revestimiento, así como sus diámetros.

I.1 Centro y diámetro del núcleo

El diámetro y el centro del núcleo se determinan mediante una cantidad suficiente de exploraciones a través de una sección de la fibra con el valor k apropiado. En cada exploración se obtienen dos puntos de la frontera núcleo/revestimiento. Los puntos deberán estar distribuidos de forma uniforme en el perímetro del núcleo, al menos aproximadamente.

Sean:

x_i, y_i las coordenadas cartesianas del punto i -ésimo de la frontera,

a_c, b_c las coordenadas cartesianas del centro del núcleo,

R_c el radio del núcleo,

z, m_i las variables intermedias $z = a_c^2 + b_c^2 - R_c^2$ y $m_i = x_i^2 + y_i^2$.

Los parámetros desconocidos a_c, b_c y R_c se obtienen buscando el círculo que mejor represente, según la regla de ajuste por los mínimos cuadrados, la frontera experimental entre el núcleo y el revestimiento. El algoritmo de cálculo consiste en hacer mínima, respecto de los parámetros a_c, b_c y z , la magnitud:

$$\begin{aligned} M &= \sum_i \left[(x_i - a_c)^2 + (y_i - b_c)^2 - R_c^2 \right]^2 \\ &= \sum_i (x_i^2 + y_i^2 - 2a_c x_i - 2b_c y_i + z)^2 \end{aligned}$$

La anulación de las tres derivadas parciales de M respecto de a_c , b_c y z arroja un sistema de tres ecuaciones lineales que reviste la forma matricial siguiente:

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_i x_i^2 & 2 \sum_i x_i y_i & - \sum_i x_i \\ 2 \sum_i x_i y_i & 2 \sum_i y_i^2 & - \sum_i y_i \\ 2 \sum_i x_i & 2 \sum_i y_i & - N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_c \\ b_c \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i x_i \\ \sum_i m_i y_i \\ \sum_i m_i \end{bmatrix}$$

Las sumas se efectúan de $i = 1$ a $i = N$, siendo

N el número total de puntos medidos.

La inversión numérica de este sistema de los valores de a_c , b_c y z , lo que permite deducir el de R_c .

El centro del núcleo es el punto de coordenadas a_c y b_c , y su diámetro es $D_c = 2 R_c$.

I.2 Centro y diámetro del revestimiento

El mismo procedimiento de cálculo y las mismas definiciones que para el núcleo permiten determinar:

- las coordenadas del centro del revestimiento a_g y b_g ,
- el radio del revestimiento R_g .

El centro del revestimiento es el punto de coordenadas a_g y b_g y su diámetro es $D_g = 2 R_g$.

Sección II – Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para las mediciones de atenuación

B.1 Introducción

B.1.1 Objetivos

Las mediciones de atenuación tienen por objeto proporcionar un medio que permita asignar cierto valor del coeficiente de atenuación a un largo de fibra de modo que los valores de atenuación de cada tramo puedan sumarse para determinar la atenuación total de un cable compuesto de varios tramos concatenados.

B.1.2 Definición

La **atenuación** A (λ) y una longitud de onda λ entre dos secciones transversales 1 y 2 de una fibra separadas por una distancia L se define por:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (\text{dB})$$

donde $P_1(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 1 y $P_2(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 2 a la longitud de onda λ . Para una fibra uniforme en condición de equilibrio, es posible calcular la atenuación por unidad de longitud, o el coeficiente de atenuación

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \left[\frac{\text{dB}}{\text{unidad de longitud}} \right]$$

que es independiente de la longitud elegida de la fibra.

Nota 1 – Los valores de atenuación especificados para los largos de fabricación deben medirse a la temperatura ambiente (es decir, un valor único en la gama de + 10 °C a + 35 °C).

B.1.3 Descripción

Se han sugerido tres métodos para las mediciones de atenuación.

B.1.3.1 La *técnica de la fibra cortada* es una aplicación directa de la definición, en la cual se miden los niveles de potencia P_1 y P_2 en dos puntos de la fibra sin modificar las condiciones de entrada. P_2 es la potencia que sale por el extremo de la guía y P_1 es la potencia que emerge de un punto cercano al de entrada, después de cortada la fibra.

B.1.3.2 La *técnica de la pérdida de inserción* es en principio similar a la técnica de la fibra cortada, pero P_1 es la potencia que emerge de la salida del sistema de inyección. La atenuación medida es la suma de la atenuación de largo de fibra insertado y la atenuación causada por la conexión entre el sistema de inyección y la fibra medida. Es necesario corregir el resultado para tener en cuenta las pérdidas de la conexión.

B.1.3.3 La *técnica del retroesparcimiento* es una manera indirecta de determinar la atenuación midiendo las potencias retroesparcidas a través de dos secciones transversales de la fibra.

B.1.4 Campo de aplicación

En general, se ha reconocido que la técnica de la fibra cortada es la que da resultados más exactos. Pero en muchas situaciones su naturaleza destructiva constituye una desventaja.

Con la técnica de la pérdida de inserción se evita cortar una parte de la fibra, si bien a expensas de la exactitud.

La técnica del retroesparcimiento es un método no destructivo, aplicado en un solo extremo, pero está limitada en su alcance, y a veces también en su exactitud.

Analizadas las ventajas y los inconvenientes de los tres métodos, se ha elegido la técnica de la fibra cortada como método de prueba de referencia.

B.2 Método de prueba de referencia: la técnica de fibra cortada

B.2.1 Condiciones de inyección

B.2.1.1 Definición de las condiciones de inyección

Las condiciones de inyección son de capital importancia a la hora de determinar si se han cumplido los objetivos especificados. Las condiciones de inyección deben reflejar aproximadamente la distribución de modos en equilibrio (DME) que se supone existe cuando la distribución de potencia de los diagramas de campo a la salida de la fibra es esencialmente independiente de la longitud de ésta.

B.2.1.2 Técnicas de inyección

En la figura B-6/G.651 se muestra un montaje genérico para conseguir la inyección con distribución de modos en equilibrio (DME).

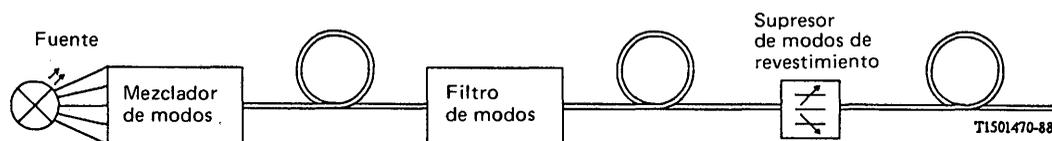


FIGURA B-6/G.651

Condiciones de inyección genéricas

B.2.1.2.1 *Supresor de modos propagados por el revestimiento*

Favorece la conversión de los modos que se propagan por el revestimiento en modos de radiación; como resultado desaparecen en la fibra los modos que se propagan por su revestimiento.

B.2.1.2.2 *Filtro de modos*

Es un dispositivo utilizado para seleccionar, rechazar o atenuar uno o varios modos determinados; debe asegurar el establecimiento de una distribución de modos próxima a la DME.

B.2.1.2.3 *Mezclador de modos*

Es un dispositivo utilizado para inducir la transferencia de energía entre modos en una fibra óptica, y debe proporcionar una distribución de modos que sea independiente de las características de la fuente.

Nota 1 – Pueden utilizarse disposiciones ópticas adecuadas que produzcan una distribución próxima a la distribución de modos en equilibrio directamente en el extremo de entrada de la fibra sometida a prueba. En este caso se necesita un dispositivo único para la realización de las tres funciones de la figura B-6/G.651.

B.2.1.3 *Ejemplo*

Con una fibra de 50/125 μm homogénea de índice gradual y baja atenuación, que tiene una apertura numérica de 0,2 y se utiliza a 850 nm, puede obtenerse una aproximación de la distribución de modos en equilibrio si después del punto de corte se observan las siguientes características:

- a) el valor de la anchura al 50% del haz luminoso, medida desde el campo próximo, es 26 μm ;
- b) la apertura numérica para el valor de anchura al 50%, medida desde el campo lejano, es 0,11 μm .

Se supone que los esquemas de campo próximo y de campo lejano tienen forma aproximadamente gaussiana.

Para obtener este equilibrio de la distribución modal puede utilizarse el montaje mostrado en la figura B-6/G.651.

El haz de inyección incide con el extremo de inyección de la fibra en forma de un punto centrado en el núcleo de la fibra con la intensidad luminosa con una anchura al 50% de campo próximo no inferior a 70 μm y una apertura numérica para la anchura al 50% de campo lejano no inferior a 0,3 a través de la zona central de 70 μm central del cono (para fibras con $AN < 0,25$).

El eje del haz de inyección coincide con el eje de la fibra.

El mezclador de modos debe comprender una configuración de fibras adecuada (por ejemplo, secuencia escalón-gradual-escalón o una secuencia de flexión).

El filtro de modo adopta la forma de un mandril en torno al cual se enrolla la fibra sometida a prueba, con baja tensión y en una longitud del mandril no superior a 20 mm.

El diámetro del mandril puede diferir de una fibra a otra; son comunes los valores en la gama de 18 a 22 mm, con cinco vueltas de fibra.

El diámetro exacto del mandril lo determina el fabricante de la fibra o cable, de manera que los diagramas de campo próximo y de campo lejano en los dos metros de fibra siguientes al filtro de modo y al supresor de modos propagados por el revestimiento sean los mismos que se obtienen con un largo de fibra o de fibras empalmadas (normalmente superior a 5 km) dotado de una distribución de modos estable.

A menudo, el supresor de modos propagados por el revestimiento consiste en un material que tiene un índice de refracción igual o superior al del revestimiento de la fibra.

B.2.2 *Equipo y procedimiento*

B.2.2.1 *Tipos de mediciones*

Se pueden efectuar mediciones a una o más longitudes de onda específicas, aunque también es posible que se requiera la respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. En las figuras B-7/G.651 y B-8/G.651 se presentan, a título de ejemplo, equipos de prueba adecuados.

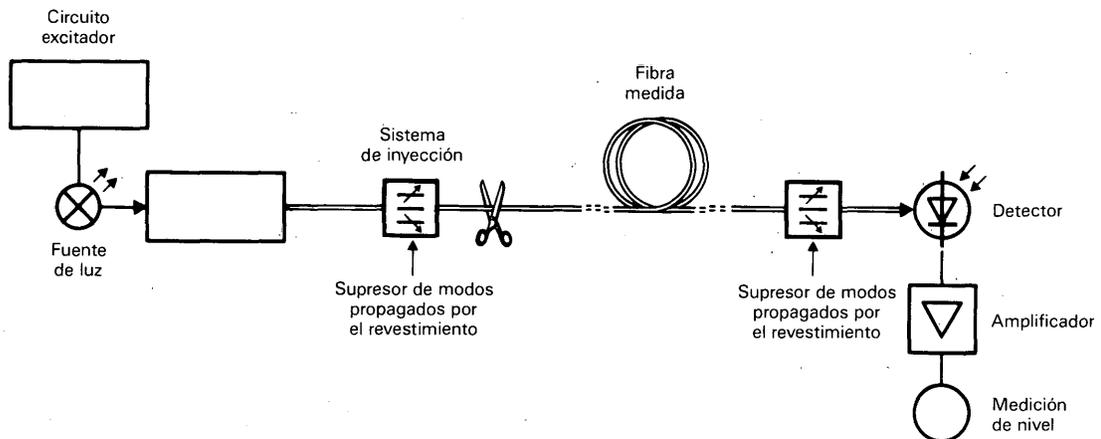
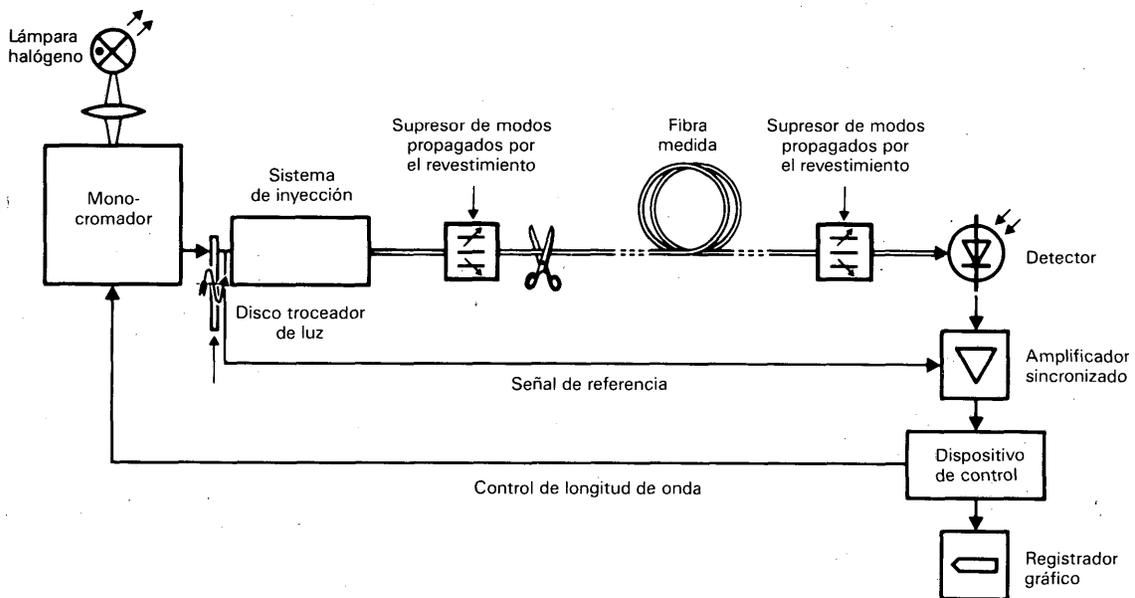


FIGURA B-7/G.651

CCITT - 49992

Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en longitudes de onda discretas



CCITT - 51002

Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en una gama de longitudes de onda

FIGURA B-8/G.651
Técnica de la fibra cortada

B.2.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente de radiación adecuada, como una lámpara, un láser o un diodo foto-emisor (LED). La elección de la fuente depende del tipo de medición. La fuente debe ser estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que pueda aplicarse el procedimiento de medición completo. La anchura espectral, entre puntos al 50% de amplitud deberá especificarse de modo que sea pequeña en comparación con cualquier propiedad de la atenuación espectral de la fibra.

La fibra debe estar alineada con el cono de inyección, o conectada coaxialmente con una fibra de inyección.

B.2.2.3 Detector óptico

Se utilizará un detector de gran superficie a fin de que toda la radiación en el cono (o conos) de salida sea interceptada. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. La detección debe ser uniforme y tener características lineales.

Es costumbre modular la fuente de luz para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. Si se emplea este procedimiento, el detector debe estar asociado a un sistema de tratamiento sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.2.2.4 Montaje de inyección

Véase el § B.2.1.

B.2.2.5 Procedimiento

- 1) La fibra que se desea medir se introduce en el montaje de medida. Se mide y registra la potencia P_2 .
- 2) Manteniendo constante las condiciones de inyección, se corta la fibra a cierta distancia (por ejemplo, a 2 metros del punto de inyección). Se mide y registra la potencia P_1 que se obtiene en el punto en que se ha cortado la fibra.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido las potencias P_1 y P_2 puede calcularse utilizando la fórmula de la definición, introduciendo los valores medidos de P_1 y P_2 .

B.2.3 Presentación de los resultados

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipo y característica de la medición.
- b) Técnica de inyección.
- c) Montaje de la prueba.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra de fibra y longitud a que se corta la fibra.
- g) Atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada.
- h) Atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km.
- i) Para las mediciones de la pérdida espectral, los resultados deben presentarse en forma de una curva de atenuación en función de la longitud de onda.

B.3 Primer método de medición alternativo: técnica de la pérdida de inserción

B.3.1 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección requeridas son similares a las indicadas en el § B.2.1.

B.3.2 Equipo y procedimiento

B.3.2.1 Tipos de mediciones

Se pueden realizar mediciones a una o más longitudes de onda discretas, aunque también se puede necesitar una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. En la figura B-9/G.651 se muestra el diagrama de una configuración de prueba adecuada (a – calibración, b – medición).

B.3.2.2 Fuente óptica

Véase el § B.2.2.2.

B.3.2.3 Detector óptico

Véase el § B.2.2.3.

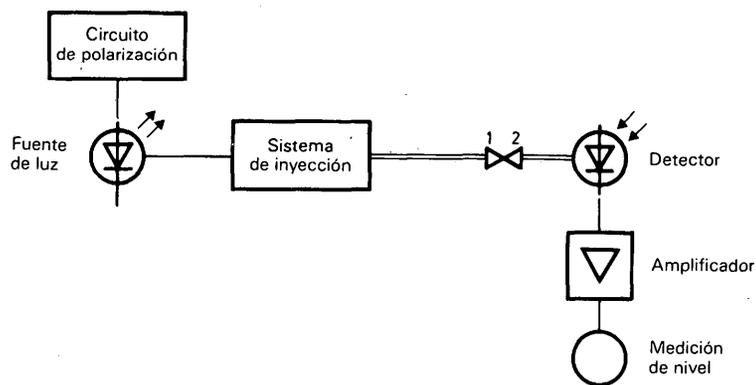
B.3.2.4 Montaje de inyección

Véase el § B.2.1.

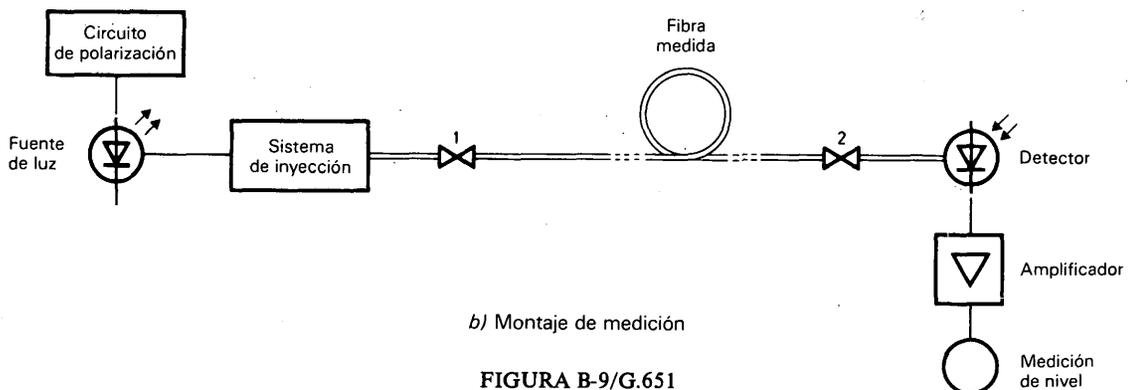
B.3.2.5 Dispositivo de acoplamiento

La técnica de la pérdida de inserción requiere un dispositivo muy preciso de acoplamiento de fibra a fibra, para asegurar que las pérdidas de acoplamiento sean mínimas y los resultados fiables.

Este dispositivo de acoplamiento puede ser mecánico, con supervisión visual del ajuste, o un conector que asegure que queden alineados los núcleos de las fibras.



a) Montaje de calibración



b) Montaje de medición

FIGURA B-9/G.651
Técnica de la pérdida de inserción

CCITT - 59 590

B.3.2.6 *Procedimiento*

- 1) Se comienza por calibrar el circuito de medición a fin de obtener un nivel de referencia de entrada P_1 .
- 2) La fibra que se desea medir se coloca en el montaje de medida y se ajusta el acoplamiento de modo que se obtenga un nivel máximo en el detector óptico. Se mide y registra la potencia de salida P_2 .
- 3) Se calcula la atenuación como se indica en el § B.1.2. Esta es la suma de la atenuación del largo de fibra insertado y de la atenuación debida a la conexión entre los dispositivos de acoplamiento y la fibra medida.

B.3.3 *Presentación de los resultados*

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipo y características de la medición.
- b) Técnica de inyección.
- c) Montaje de la prueba.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra.
- g) Atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada.
- h) Atenuación del conector y su tolerancia.
- i) Atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km.
- j) Para las mediciones de la pérdida espectral, los resultados deben presentarse en forma de una curva de atenuación en función de la longitud de onda.

B.4 *Segundo método de medición alternativo: técnica del retroesparcimiento*

Nota – Se describe un procedimiento para medir la atenuación de una muestra homogénea de cable de fibra óptica. Esta técnica puede aplicarse para determinar la continuidad óptica, defectos físicos, la calidad de los empalmes, la luz retroesparcida en cables de fibra óptica y la longitud de la fibra.

B.4.1 *Condiciones de inyección*

Para la medición de la atenuación pueden aplicarse las técnicas descritas en el § 2.1. Para otras pruebas, las condiciones de inyección pueden depender de las características que deban medirse.

En todos los casos, a fin de reducir las reflexiones de Fresnel a la entrada de la fibra, pudieran utilizarse varios dispositivos tales como polarizadores o sustancias para la adaptación de índices. Las pérdidas de inserción deben reducirse al mínimo.

B.4.2 *Equipo y procedimiento*

B.4.2.1 *Consideraciones generales*

El nivel de la señal óptica retrodifusa será normalmente pequeño y estará próximo al nivel de ruido. Por tanto, a fin de mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica, se acostumbra a utilizar una fuente de luz de alta potencia y aplicar un tratamiento a la señal detectada. Además, cuando se requiera una resolución espacial de gran exactitud quizá sea necesario ajustar la anchura del impulso a fin de obtener un compromiso entre resolución y energía del impulso. Se puede emplear un núcleo especial para reducir al mínimo las reflexiones de Fresnel. Un ejemplo de equipo se muestra en la figura B-10/G.651.

B.4.2.2 *Fuente óptica*

Debe utilizarse una fuente óptica estable, de alta potencia y de longitud de onda adecuada, como por ejemplo un láser semiconductor. Se registrará la longitud de onda de la fuente. La anchura del impulso y la frecuencia de repetición deberán elegirse de modo que estén en consonancia con la resolución deseada y la longitud de la fibra. Deben suprimirse los efectos ópticos no lineales de acceso a la fibra medida.

B.4.2.3 *Detección óptica*

Se utilizará un detector óptico que intercepte la mayor cantidad posible de la potencia óptica retroesparcida. La respuesta del detector será compatible con los niveles y las longitudes de onda de la señal detectada. En las mediciones de atenuación, la respuesta del detector debe ser esencialmente lineal.

Es necesario un tratamiento de la señal para mejorar la relación señal/ruido, y conviene que el sistema de detección presente una respuesta logarítmica.

Después del detector debe haber un amplificador que eleve el nivel de la señal a un valor adecuado para su tratamiento. La anchura de banda del amplificador resultará de un compromiso entre resolución en el tiempo y reducción del ruido.

B.4.2.4 *Montaje de inyección*

Véanse los § B.2.1 y B.4.1.

B.4.2.5 *Procedimiento*

- 1) La fibra que se va a medir se alinea con el dispositivo de acoplamiento.
- 2) La potencia retroesparcida se analiza por medio de un procesador de señales y se registra a escala logarítmica. La figura B-10/G.651 muestra una curva típica.
- 3) Si la curva registrada tiene una pendiente aproximadamente constante (región b de la figura B-10/G.651), la atenuación entre dos puntos *A* y *B* de la curva, que corresponden a dos secciones transversales de la fibra, viene dada por

$$A_{A-B}(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad \text{dB}$$

donde V_A y V_B son los niveles de potencia correspondientes dados en escala logarítmica.

- 4) Si así se requiere, podrán hacerse mediciones bidireccionales, las cuales serán acompañadas de cálculos numéricos para mejorar la calidad de los resultados y tal vez para permitir una distinción entre los efectos debidos al envejecimiento y los debidos a imperfecciones.

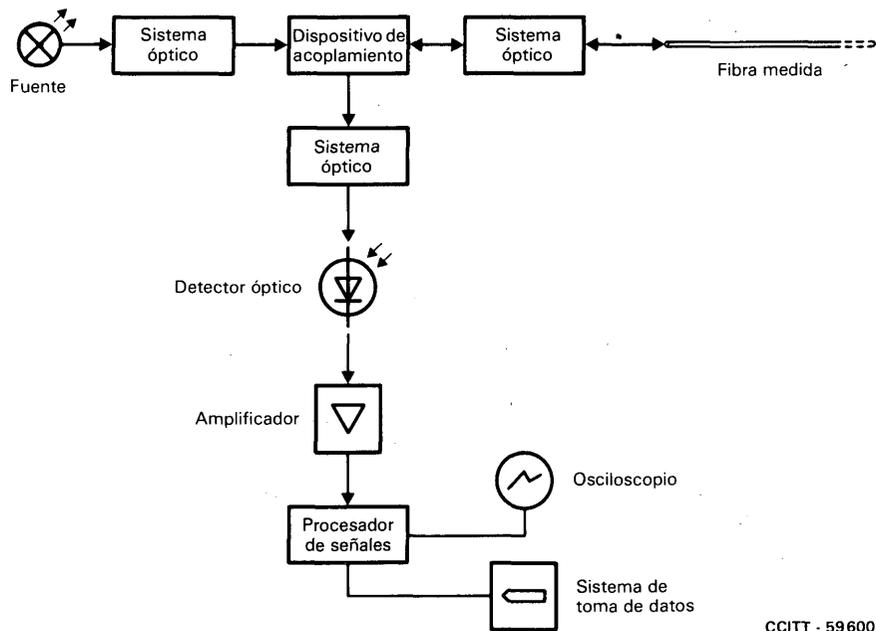
B.4.3 *Presentación de los resultados*

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipos y características de la medición.
- b) Técnicas de inyección.
- c) Montaje de la prueba.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra.
- g) Tiempo de subida, anchura, y frecuencia de repetición de los impulsos.
- h) Tipo de tratamiento de señal utilizado.
- i) La curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra, y en ciertas condiciones el coeficiente de atenuación en dB/km.

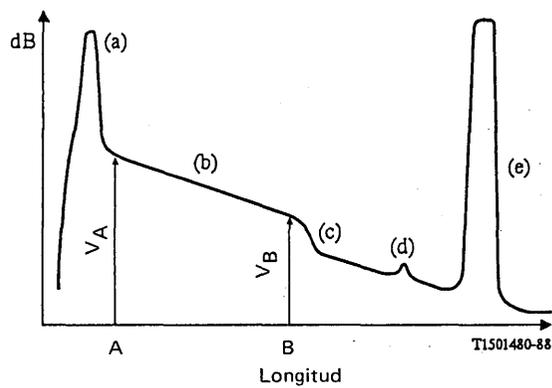
Un análisis completo de la curva registrada (figura B-10/G.651) revela que, independientemente de la medición de atenuación, cuando se emplea la técnica del retroesparcimiento pueden supervisarse muchos otros fenómenos, a saber:

- a) la reflexión causada por el dispositivo de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- b) la zona de pendiente constante;
- c) la discontinuidad debida a un defecto local, empalme o acoplamiento;
- d) la reflexión debida a un defecto dieléctrico;
- e) la reflexión en el otro extremo de la fibra.



CCITT - 59600

a) Esquema del equipo



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

FIGURA B-10/G.651
Técnica del retroesparcimiento

B.1 *Objetivos*

La respuesta en banda base de la fibra se puede describir en el dominio del tiempo por medio de su respuesta a los impulsos $g(t)$, o en el dominio de la frecuencia por medio de su respuesta de frecuencia $G(f)$. La función $g(t)$ puede describirse como la función que convolucionada con el impulso de entrada de potencia óptica en la fibra da el impulso de salida de potencia óptica de la fibra. $G(f)$ es la razón, a cualquier frecuencia, entre la modulación sinusoidal de la potencia óptica introducida en la fibra y la modulación sinusoidal de la potencia óptica obtenida a la salida de la fibra.

Las respuestas en banda base en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo en un sistema lineal están relacionadas por la ecuación:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

La respuesta en banda base se presenta en el dominio de la frecuencia.

Si se desea una representación en el dominio del tiempo, es posible obtenerla mediante operaciones matemáticas. Para esto se necesitarían las respuestas de amplitud y de fase.

La respuesta de amplitud se especifica en forma de anchura de banda óptica entre puntos a -3 dB (eléctrica entre puntos a -6 dB) de la curva amplitud/frecuencia. Debe darse también una curva más completa.

Para minimizar las variaciones de medición asociadas con respuestas en banda de base de forma irregular, puede ajustarse una función gaussiana a la respuesta en banda base $G(f)$.

Como la respuesta de fase sólo se requiere en casos especiales, no se recomiendan valores de la misma.

B.2 *Método de prueba de referencia*

B.2.1 *Aparato de prueba*

La figura B-11/G.651 muestra un diagrama esquemática de la configuración de prueba.

B.2.1.1 *Fuente luminosa*

Se utilizará una fuente luminosa láser. Debe ser estable en posición, intensidad y longitud de onda. Su longitud de onda central (λ) estará dentro de ± 20 nm del valor nominal elegido entre las gamas indicadas en el cuadro B-1/G.651 y, además, la anchura espectral ($\Delta\lambda$) entre puntos de amplitud mitad no excederá el valor correspondiente indicado en el cuadro B-1/G.651.

CUADRO B-1/G.651

Anchura entre raya de intensidad mitad de la fuente luminosa

λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
800-900	5
1200-1350	10

El medio (impulsional o sinusoidal) por el cual se modula el láser ha de poder funcionar a frecuencias más allá de aquellas a las que la respuesta de la fibra medida cae a -3 dB de nivel óptico.

La emisión máxima ha de rebasar sustancialmente la emisión espontánea y la profundidad de modulación ha de ser tan grande como lo permita la relación de extinción, a fin de obtener una relación señal/ruido máxima. Se tendrá cuidado de que la fuente luminosa no fluctúe («chirp»).

Si para la modulación se escoge una forma de onda sinusoidal, la modulación de salida se divide, frecuencia por frecuencia, por la modulación de entrada. Si la forma de onda de modulación escogida es un impulso de múltiples componentes, es necesario, como paso preliminar, efectuar la transformación de Fourier, mediante filtrado analógico o procesamiento digital de la señal recibida.

B.2.1.2 *Condiciones de inyección*

La condición de medición adecuada puede obtenerse por dos medios:

- a) distribución uniforme de la potencia de los modos (inyección con desbordamiento) con una distribución espacial uniforme mayor que el núcleo de la fibra y una distribución angular lambertiana correspondiente a la apertura númeroada de la fibra de prueba;
- b) una inyección en régimen permanente que se aproxime mucho a las condiciones reales de inyección en régimen permanente.

Nota relativa al punto b) – Debe tenerse el cuidado de que las condiciones de inyección no limiten la excitación de modos por debajo del régimen permanente, especialmente para longitudes de menos de 2 km.

B.2.1.3 *Detector*

Se utilizará un fotodiodo de alta velocidad para interceptar el volumen modal total de salida de la fibra.

La anchura de banda del fotodiodo y del dispositivo electrónico siguiente ha de ser suficiente para mantener la relación señal/ruido requerida hasta la frecuencia más alta para la que han de obtenerse resultados. El sistema detector ha de ser lineal con respecto a la potencia de entrada dentro de los límites de medición. En la eventualidad de que el detector tenga una gama lineal inadecuada, tal vez sea necesario insertar un filtro de densidad neutra previamente calibrado a la longitud de onda de funcionamiento para atenuar una señal excesivamente intensa, de modo que el detector funcione siempre en su gama de sensibilidad lineal.

B.2.1.4 *Sistema de presentación de salida*

El sistema de presentación de la salida ha de ser capaz de registrar o visualizar la amplitud de la modulación de salida con respecto a escalas calibradas ordinarias o logarítmicas de la potencia o la frecuencia. En el caso de modulación por impulsos, un paso intermedio puede comprender el registro de la forma de onda del impulso con respecto a una escala de tiempo calibrada.

B.2.2 *Procedimiento*

B.2.2.1 *Preparación de la fibra para las pruebas*

Debe eliminarse el recubrimiento primario de las partes de la fibra que han de introducirse en los supresores de modos propagados por el revestimiento.

Los extremos de la fibra han de estar muy limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra. Las mediciones en fibras que no forman parte de cables han de efectuarse con la fibra suelta en el tambor para evitar el acoplamiento de modos por inducción desde el exterior.

B.2.2.2 *Medición*

Se comienza por conectar el emisor y el receptor mediante una guía óptica corta de prueba y la potencia del emisor se ajusta de modo que se obtenga una señal en la gama lineal del receptor. Para uso como método de prueba de referencia en condiciones de explotación, la respuesta específica del instrumento debe almacenarse en esta etapa, para uso ulterior, ya sea bajo forma de respuesta de impulso, o de frecuencia, según convenga.

La fibra a medir se intercala entonces entre el emisor y el receptor, y se mide y registra su salida. Para uso como método de prueba de referencia de fibras independientes, se corta entonces la fibra en un punto a una distancia conveniente del supresor de modos de propagación por el revestimiento (en caso de utilizarse este supresor) del extremo transmisor, o del filtro de modos y, teniendo cuidado de no perturbar las condiciones de inyección, se mide y registra la salida de la fibra cortada. La región de operación del fotodiodo receptor ha de ser igual en todas las etapas, en la medida de lo posible.

Los conjuntos de datos de amplitud en el dominio de la frecuencia, bien obtenidos directamente o por transformación desde el dominio del tiempo, correspondientes a la señal de salida de la fibra medida y a la respuesta específica del instrumento (incluida la fibra cortada) se dividen entonces (o se sustraen, si están presentados en escala logarítmica), frecuencia por frecuencia, la primera por la última, para obtener la respuesta en frecuencia de la fibra.

B.2.3 Presentación de los resultados

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- Tipo y característica de la medición.
- Técnica de inyección.
- Configuración de prueba, incluidas, la longitud de onda y la anchura espectral entre puntos de amplitud mitad.
- Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- Identificación de la fibra.
- Longitud de la muestra.
- Anchura de banda (incluidos los efectos de dispersión cromática) definida por el punto óptico a -3 dB de la característica de amplitud/frecuencia y, en caso necesario, las características de amplitud/frecuencia y/o de fase, completas.
- Para el largo de fabricación, el valor, si es necesario, de la anchura de banda referida a 1 km (debe indicarse la fórmula aplicada).
- Como se especifica en g), la anchura de banda medida incluye los efectos de dispersión modal y de dispersión cromática. En caso necesario, la anchura de banda modal B_{modal} (expresada en MHz) se puede obtener como sigue, suponiendo que tanto el espectro de la fuente como la respuesta en banda de base modal de la fibra tienen forma gaussiana:

$$B_{\text{modal}} = \left[(1/B_T)^2 - (M(\lambda) \Delta\lambda \cdot L \cdot 10^{-6}/0,44)^2 \right]^{-1/2}$$

donde:

- B_T = anchura de banda medida de la fibra,
- $M(\lambda)$ = coeficiente de dispersión cromática [(ps/nm · km)],
- $\Delta\lambda$ = anchura espectral de la fuente luminosa entre puntos al 50% de amplitud (nm),
- L = longitud de la fibra (expresada en km).

Nota – El equipo y procedimiento anteriormente indicados son aplicables únicamente a las características básicas del método de prueba de referencia. Se supone que la instrumentación detallada incorporará todas las medidas necesarias para garantizar la estabilidad, supresión del ruido, etc., y que, en los procedimientos de procesamiento de datos, con inclusión de muestreo, funciones de ponderación, truncación, etc., se tratará por todos los medios de garantizar un equilibrio satisfactorio entre las ventajas y los inconvenientes de las técnicas escogidas.

En los resultados se incluirán detalles de tales procedimientos junto con información cuantitativa.

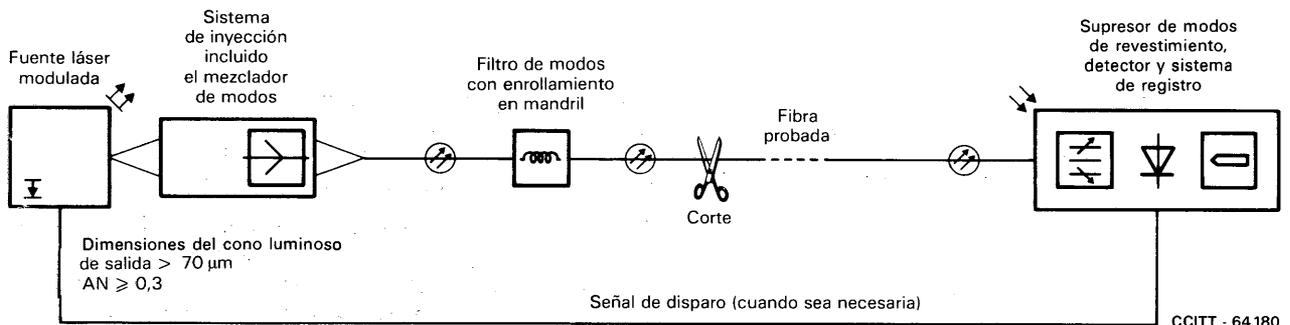


FIGURA B-11/G.651
Configuración de prueba típica

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando

- (a) que los cables de fibra óptica monomodo se utilizan ampliamente en las redes de telecomunicación;
- (b) que las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieran en:
 - las características geométricas,
 - la longitud de onda de trabajo,
 - la dispersión de atenuación, la longitud de onda de corte y otras características ópticas,
 - los aspectos mecánicos y ambientales;
- (c) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras monomodo cuando hayan progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica,

recomienda

una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm, optimizada para uso en la región de longitud de onda de 1300 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada).

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas y de transmisión de esta fibra, se describen más adelante, así como los métodos de prueba aplicables.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación se expone en el anexo A, y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B. Los anexos A y B podrían convertirse en Recomendaciones separadas a medida que se adopten otras Recomendaciones sobre fibras monomodo.

1 Características de la fibra

En este § 1 sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada puede verse apreciablemente afectada por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

Esta Recomendación se aplica a las fibras que tienen un campo modal nominalmente circular.

1.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal del diámetro del campo modal a 1300 nm estará en la gama de 9 a 10 μm . La desviación del diámetro del campo modal no deberá exceder de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

Nota 1 – El valor de 10 μm se emplea corrientemente para diseños de revestimientos adaptados, y el valor de 9 μm para diseños de revestimientos con depresión. Sin embargo, la elección de un valor concreto de la gama indicada no depende necesariamente del diseño de fibra utilizado.

Nota 2 – Debe señalarse que el comportamiento de la fibra necesario para una determinada aplicación depende más de los parámetros esenciales de la propia fibra y del sistema, es decir, del diámetro del campo modal, de la longitud de onda de corte, de la dispersión total, de la longitud de onda de trabajo del sistema y de la velocidad binaria/frecuencia de trabajo, que del diseño de la fibra.

Nota 3 – De hecho, el valor medio del diámetro del campo modal puede diferir de los valores nominales indicados, a condición de que todas las fibras estén dentro de $\pm 10\%$ del valor nominal especificado.

1.2 *Diámetro del revestimiento*

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.3 *Error de concentricidad del campo modal*

El error de concentricidad para el campo modal no debe exceder de 1 μm .

Nota 1 – Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas tolerancias de hasta 3 μm .

Nota 2 – El error de concentricidad del campo modal y el error de concentricidad del núcleo, representado por la iluminación transmitida utilizando longitudes de onda diferentes de 1300 nm (incluida la luz blanca), son equivalentes. En general, la desviación del centro del perfil del índice de refracción y el eje del revestimiento representa también el error de concentricidad del campo modal, pero si apareciese alguna diferencia entre el error de concentricidad del campo modal, medido de acuerdo con el método de prueba de referencia (MPR), y el error de concentricidad del núcleo, el primero constituirá la referencia.

1.4 *No circularidad*

1.4.1 *No circularidad del campo modal*

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y los empalmes no se vean afectados. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

La no circularidad del revestimiento debe ser inferior al 2%. Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.5 *Longitud de onda de corte*

Pueden distinguirse dos tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) la longitud de onda de corte λ_c de una fibra con revestimiento primario, de acuerdo con el MPR de la fibra correspondiente;
- b) la longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra cableada en condición de instalación, de acuerdo con el MTR del cable correspondiente.

La correlación de los valores medidos de λ_c y λ_{cc} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general no puede establecerse fácilmente la relación cuantitativa $\lambda_{cc} < \lambda_c$, es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre empalmes a la longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Esto puede conseguirse de dos formas:

- 1) recomendando que λ_c sea inferior a 1280 nm; cuando resulta adecuado un límite inferior, λ_c debe ser superior a 1100 nm;
- 2) recomendando que λ_{cc} sea inferior a 1270 nm.

Nota – Debe asegurarse un margen de longitud de onda suficiente entre la mínima longitud de onda de trabajo admisible del sistema λ_s de 1270 nm, y la máxima longitud de onda de corte admisible del cable λ_{cc} . Varias Administraciones están a favor de un máximo de λ_{cc} de 1260 nm para tener en cuenta las variaciones de muestreo de la fibra y las variaciones de la longitud de onda de la fuente debidas a la tolerancia, temperatura y efectos de envejecimiento.

No es necesario invocar ambas especificaciones: los usuarios pueden elegir entre especificar λ_c o λ_{cc} según sus necesidades específicas y las aplicaciones previstas. En el último caso, se entiende que λ_c puede ser superior a 1280 nm.

En el caso en que el usuario elija especificar λ_c como en 1), no es necesario medir λ_{cc} .

En el caso en que el usuario elija especificar λ_{cc} , puede permitirse que λ_{cc} sea superior a la mínima longitud de onda de trabajo del sistema, basándose en los efectos de la fabricación e instalación del cable para obtener valores de λ_{cc} por debajo de la mínima longitud de onda de trabajo del sistema para el largo de cable más pequeño entre dos uniones.

En el caso en que el usuario elija especificar λ_{cc} , puede ser suficiente una prueba de aptitud para verificar que se cumpla el requisito de λ_{cc} .

1.6 Características de pérdida a 1550 nm

A fin de asegurar un funcionamiento con bajas pérdidas de las fibras instaladas optimizadas a 1300 nm en la región de longitudes de onda de 1550 nm, el incremento de la pérdida para 100 vueltas de fibra holgadamente enrolladas con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 1,0 dB.

Nota 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

Nota 2 – El valor indicado más arriba de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio de 37,5 mm es equivalente al radio mínimo de flexión generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de los sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

Nota 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la realización de esta prueba un número de vueltas menor que 100, nunca se empleen menos de 40 vueltas, y se utilice un incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

Nota 4 – Se sugiere que si se ha previsto efectuar flexiones con radios de curvatura menores de 37,5 mm (por ejemplo, $R = 30$ mm) en los casos de empalme, o en cualquier otro lugar del sistema, el mismo valor de pérdida de 1,0 dB se aplique a 100 vueltas de fibra montadas con este radio menor.

Nota 5 – La cláusula sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

Nota 6 – Cuando se requieran pruebas de rutina para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la cláusula sobre la pérdida de 1,0 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

1.7 Propiedades de los materiales de la fibra

1.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que intervienen en la composición de las fibras.

Nota – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica adecuadas cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

1.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

1.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra; si se desea medirlo, puede utilizarse el método de prueba de referencia de la Recomendación G.651.

1.9 Ejemplos de directrices de diseño de la fibra

El Suplemento N.º 33 da un ejemplo de directrices de diseño para fibras con revestimientos adaptados utilizadas por dos organizaciones.

2 Especificaciones de los largos de fabricación

Como las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en el § 1 son apenas afectadas por el proceso de cableado, este § 2 formulará recomendaciones pertinentes sobre todo a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones de prueba y del ambiente son de gran importancia, y se describen en las secciones sobre métodos de prueba.

2.1 Coeficiente de atenuación

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen, generalmente, coeficientes de atenuación inferiores a 1,0 dB/km en la región de longitudes de onda de 1300 nm e inferiores a 0,5 dB en la de 1550 nm.

Nota – Los valores más bajos del coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 dB/km en la región de 1300 nm y entre 0,15 y 0,25 dB/km en la de 1550 nm.

2.2 Coeficiente de dispersión cromática

El máximo coeficiente de dispersión cromática deberá especificarse por:

- la gama permitida de longitudes de onda de dispersión nula entre $\lambda_{omin} = 1295$ nm y $\lambda_{omax} = 1322$ nm;
- el valor máximo $S_{omax} = 0,095$ ps/(nm² · km) de la pendiente con dispersión nula.

Los límites del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda λ dentro de la gama 1270-1340 nm deberá calcularse por:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{omin}^4}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{omax}^4}{\lambda^3} \right]$$

Nota 1 – Los valores de λ_{omin} , λ_{omax} y S_{omax} arrojan magnitudes del coeficiente de dispersión $|D_1|$ y $|D_2|$ iguales o inferiores a los máximos coeficientes de dispersión cromática del siguiente cuadro:

Longitud de onda (nm)	Máxima coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)]
1285 - 1330	3,5
1270 - 1340	6
1550	20

(A 1285 nm, se presenta una excepción, ya que el valor $|D_2|$ es de 3,67 ps/(nm · km). Se obtendría un valor menor reduciendo S_{omax} y λ_{omax} ; esto requiere ulterior estudio.)

Nota 2 – El uso de estas ecuaciones en la región de los 1550 nm debe considerarse con cautela.

Nota 3 – Para sistemas de alta capacidad (por ejemplo, de 4×140 Mbit/s o más) o de gran longitud, puede ser necesario especificar una gama más estrecha de $\lambda_{\text{omín}}$, $\lambda_{\text{omáx}}$ o, de ser posible, elegir un valor menor para $S_{\text{omáx}}$.

Nota 4 – No es necesario medir la dispersión cromática de las fibras monomodo en forma periódica.

3 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable incluye normalmente varios largos de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en el § 2. Los parámetros de transmisión de las secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos de cable, sino también, entre otras cosas, factores tales como las pérdidas por empalmes y por conectores (si se aplican).

3.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

donde

- α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra de la sección elemental de cable
- L_n = longitud de la n -ésima fibra
- m = número total de fibras concatenadas de la sección elemental de cable
- a_s = pérdida media por empalme
- x = número de empalmes de la sección elemental de cable
- a_c = pérdida media por conector de línea
- y = número de conectores de línea de la sección elemental de cable (si se aplican).

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.).

La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipo.

Como pérdida de los empalmes y conector se utiliza la pérdida media. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

3.2 Dispersión cromática

Se puede obtener la dispersión cromática expresada en ps a partir de los coeficientes de dispersión total de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal de la longitud y respetando los signos de los coeficientes y las características de la fuente del sistema (véase el § 2.2).

ANEXO A

(a la Recomendación G.652)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

Los términos incluidos en este anexo son específicos de las fibras monomodo. Otros términos empleados en la presente Recomendación tienen el significado que se indica en el anexo A a la Recomendación G.651.

A.1 diámetro del campo modal (DCM)

El diámetro del campo modal $2w$ se determina aplicando una de las definiciones siguientes. Los límites de integración indicados son de 0 a ∞ , pero se entiende que esta notación implica que las integrales se truncan en el límite del argumento creciente. Si bien el valor físico máximo del argumento q es $\frac{1}{\lambda}$, los integrandos se aproximan rápidamente a cero antes de que se alcance este valor.

i) **DOMINIO DE CAMPO LEJANO:** En este dominio son posibles tres realizaciones prácticas de medición diferentes:

a) **EXPLORACIÓN DE CAMPO LEJANO:** Se mide la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$ en función del ángulo de campo lejano θ , y el diámetro del campo modal (DCM) a la longitud de onda λ viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[2 \frac{\int_0^{\infty} q^3 F^2(q) dq}{\int_0^{\infty} q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \text{ donde } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (1)$$

b) **EXPLORACIÓN EN ARISTA:** Se mide la función de transmisión de potencia de arista $K(x)$ en función del desplazamiento lateral en arista x , con el plano de la arista situado a una distancia D de la fibra, y el DCM viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \frac{\int_0^{\infty} K'(x) q^2 dq}{\int_0^{\infty} K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \text{ donde } x = D \tan \theta, K'(x) = \frac{dK(x)}{dx} \text{ y } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (2)$$

c) **TÉCNICA DE APERTURA VARIABLE:** Se mide la función de transmisión de potencia con apertura complementaria $\alpha(x)$ en función del radio de apertura x , con el plano de la apertura situado a una distancia D de la fibra, y el DCM viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \int_0^{\infty} a(x) q dq \right]^{-1/2}, \text{ donde } x = D \tan \theta \text{ y } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (3)$$

ii) **DOMINIO DE UNIÓN DESPLAZADA:** Se mide el coeficiente de transmisión de potencia $T(\delta)$ en función del desplazamiento transversal δ , y

$$2w = 2 \left[-2 \frac{T(0)}{\left[\frac{d^2 T}{d\delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

iii) **DOMINIO DE CAMPO PRÓXIMO:** Se mide la distribución de intensidad de campo próximo $f^2(r)$ en función de la coordenada radial r , y

$$2w = 2 \left[2 \frac{\int_0^{\infty} r f^2(r) dr}{\int_0^{\infty} r \left[\frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Nota – La equivalencia matemática de estas definiciones resulta de las relaciones de transformación entre los resultados de medición obtenidos mediante las diferentes realizaciones prácticas. Estas se resumen en la figura A-1/G.652.

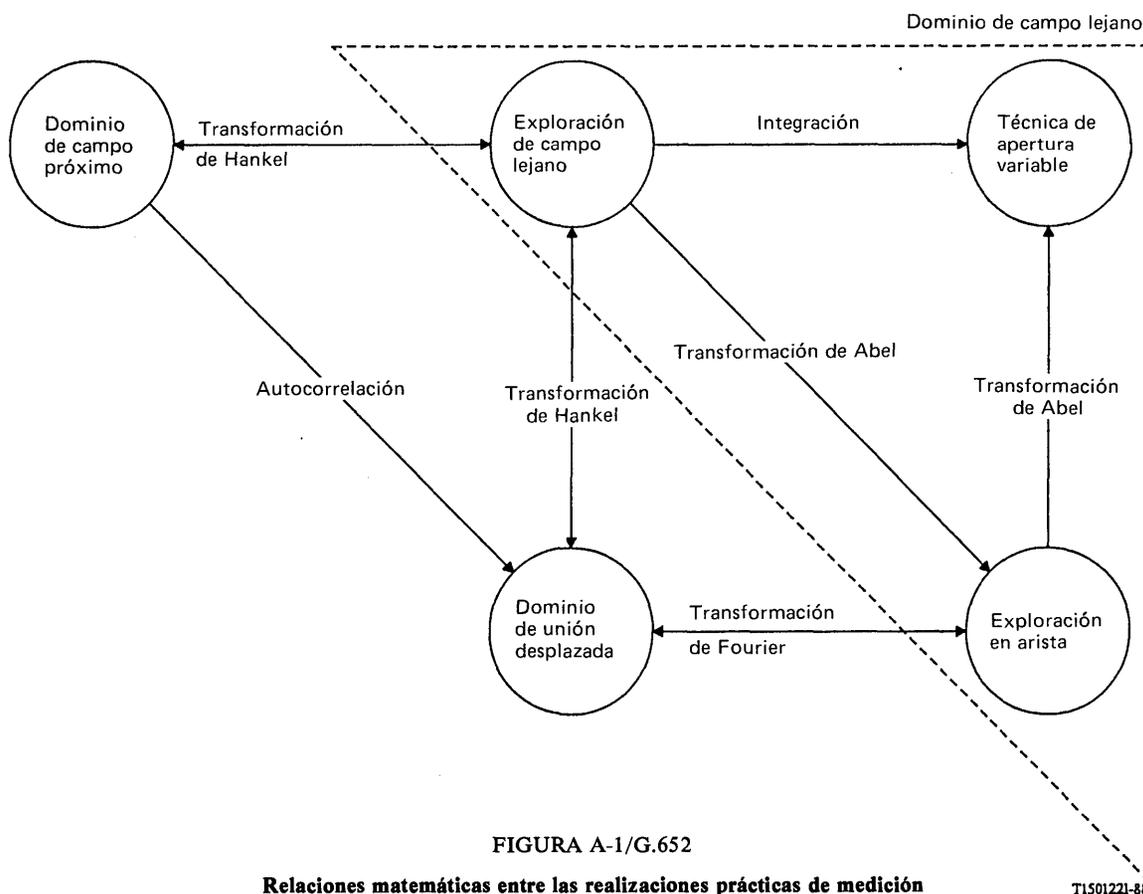


FIGURA A-1/G.652

Relaciones matemáticas entre las realizaciones prácticas de medición

T1501221-88

A.2 superficie del revestimiento

Superficie exterior del vidrio que cubre la fibra óptica.

A.3 centro de la superficie del revestimiento

En una sección transversal de la fibra óptica, posición del centro del círculo que mejor corresponde al lugar geométrico de la superficie del revestimiento en dicha sección transversal.

Nota – Debe especificarse el método de mejor ajuste, que actualmente está en estudio.

A.4 diámetro de la superficie del revestimiento

Diámetro del círculo que define el centro del revestimiento.

Nota – En una fibra nominalmente circular, el diámetro de la superficie del revestimiento, para cualquier orientación de la sección transversal, es la mayor distancia a través del revestimiento.

A.5 no circularidad de la superficie del revestimiento

Diferencia entre máximo diámetro de la superficie del revestimiento $D_{m\acute{a}x}$ y el mínimo diámetro de la superficie del revestimiento $D_{m\acute{i}n}$ (con respecto al centro común de la superficie del revestimiento), dividido entre el diámetro nominal del revestimiento D , es decir,

$$\text{No circularidad} = (D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n}) / D$$

Nota – Los diámetros máximo y mínimo de la superficie del revestimiento son, respectivamente, la mayor y la menor distancias entre las dos intersecciones de una línea que pasa por el centro del revestimiento con la superficie del revestimiento.

A.6 campo modal

El campo modal es la distribución de campo monomodal que produce una distribución de intensidad espacial en la fibra.

A.7 centro del campo modal

El centro del campo modal es la posición del centroide de la distribución espacial de intensidad en la fibra.

Nota 1 – El centroide está situado en \bar{r}_c , que es la integral del vector de posición \vec{r} normalizada y ponderada por la intensidad:

$$\bar{r}_c = \int \int_{\text{AREA}} \vec{r} I(\vec{r}) dA / \int \int_{\text{AREA}} I(\vec{r}) dA$$

Nota 2 – Para las fibras consideradas en esta Recomendación, la correspondencia entre la posición del centroide que se ha definido y la posición del máximo de la distribución espacial de intensidad requiere ulterior estudio.

A.8 error de concentricidad del campo modal

Distancia entre el centro del campo modal y el centro de la superficie del revestimiento.

A.9 no circularidad del campo modal

Como normalmente no es necesario medir la no circularidad del campo modal para fines de aceptación (como se indica en el § 1.4.1), no es necesaria en este contexto una definición de la no circularidad del campo modal.

A.10 longitud de onda de corte

La longitud de onda de corte es la longitud de onda mayor que aquella para la cual la relación entre la potencia total, incluida la de los modos de orden superior inyectados, y la potencia del modo fundamental disminuye hasta alcanzar un valor inferior a cierto valor especificado, estando los modos excitados de manera prácticamente uniforme.

Nota 1 – Por definición se elige como valor especificado 0,1 dB para un largo de fibra de 2 metros sustancialmente recto que incluye un bucle de una sola vuelta con un radio de 140 mm.

Nota 2 – La longitud de onda de corte definida en esta Recomendación es diferente en general de la longitud de onda de corte teórica calculable a partir del perfil del índice de refracción de la fibra. La longitud de onda de corte teórica es un parámetro menos útil en la determinación del funcionamiento de la fibra en una red de telecomunicación.

Nota 3 – En el § 1.5 se describen dos tipos de longitud de onda de corte:

- i) λ_c , cuyo valor se determina por el método de prueba de referencia (o por un método de prueba alternativo);
- ii) λ_{cc} , cuyo valor se determina por un método análogo al método de prueba de referencia, pero sobre un largo de fibra cableada.

A fin de evitar aumentos no deseados del ruido y de la dispersión, la longitud de onda de corte λ_{cc} de la menor longitud de cable (incluidos los largos de reparación, si los hubiere) debe ser inferior al menor valor previsto de la longitud de onda del sistema, λ_s :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (1)$$

Con esto se asegura que cada sección de cable individual sea suficientemente monomodal. En todo empalme que no sea perfecto se producirá alguna potencia de un modo de orden superior (LP_{11}) y, normalmente, las fibras monomodo permiten la propagación de este modo en una distancia corta (de unos cuantos metros, según las condiciones de instalación). En consecuencia, hay que especificar una distancia mínima entre las uniones (o empalmes), a fin de que la fibra sea lo suficientemente larga para atenuar el modo LP_{11} antes de que éste llegue a la unión siguiente. Si se cumple la desigualdad (1) para la sección de cable más corta, con tanta más razón se cumplirá para todas las secciones de cables de mayor longitud, y el sistema tendrá un comportamiento monomodal cualquiera que sea la longitud de la sección elemental de cable.

Al especificar $\lambda_{cc} < \lambda_s$ para el largo mínimo de cable (incluidos los bucles propios del empalme) se asegura el funcionamiento monomodal. Sin embargo, por lo general es más cómodo medir λ_c , para lo cual sólo se necesita una fibra cableada de dos metros de longitud. λ_c depende del tipo de fibra, de la longitud y del radio de curvatura, y λ_{cc} depende además de la estructura del cable considerado. Por tanto, la relación entre λ_c y λ_{cc} depende del diseño de la fibra y del diseño del cable. En general, λ_c es mayor que λ_{cc} en varias decenas de nm; λ_c puede incluso ser mayor que la longitud de onda del sistema, sin que deje de cumplirse la desigualdad (1). Valores más elevados de λ_c se traducen en un confinamiento más estricto del modo LP_{01} , lo que contribuye a reducir las posibles pérdidas por flexión en la región de longitudes de onda de 1550 nm.

Los pequeños largos de fibra (<20m) se utilizan frecuentemente para la conexión con fuentes y detectores, y se utilizan también como puentes para interconexiones. La longitud de onda de corte de estas fibras, cuando están instaladas, debe ser también inferior a λ_s . Entre los medios para evitar el ruido modal en este caso se hallan:

- a) seleccionar sólo fibras de λ_c suficientemente bajas para estas aplicaciones;
- b) instalación de estas fibras con flexiones de pequeño radio.

A.11 dispersión cromática

Diseminación de un impulso luminoso por unidad de anchura espectral de la fuente causada en una fibra óptica por las diferentes velocidades de grupo de las diferentes longitudes de onda que componen el espectro de la fuente.

Nota – La dispersión cromática puede deberse a una o más de las siguientes contribuciones: dispersión debida al material, dispersión debida al guionondas, dispersión debida al perfil de índice. La dispersión por polarización no produce efectos apreciables en las fibras circularmente simétricas.

A.12 coeficiente de dispersión cromática

Dispersión cromática por unidad de anchura espectral de la fuente y unidad de longitud de la fibra. Suele expresarse en ps/(nm · km).

A.13 pendiente de dispersión nula

Pendiente del coeficiente de dispersión cromática en función de la curva de longitud de onda a la longitud de onda de dispersión nula.

A.14 longitud de onda de dispersión nula

Longitud de onda a la que desaparece la dispersión cromática.

ANEXO B

(a la Recomendación G.652)

Métodos de prueba para las fibras monomodo

En este anexo se indican en general, para cada parámetro, tanto el método de prueba de referencia (MPR) como uno o varios métodos de prueba alternativos, (MPA), entendiéndose que tanto el MPR como los MPA pueden resultar adecuados para los fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, si al emplear un MPA surgiese cualquier discrepancia, se recomienda emplear el MPR para obtener los resultados de medición definitivos.

B.1 – Sección I – *Métodos de prueba para el diámetro de campo modal de las fibras monomodo*

B.1.1 *Método de prueba de referencia para el diámetro del campo modal de la fibra monomodo*

B.1.1.1 *Objetivo*

El diámetro del campo modal puede determinarse, en el dominio de campo lejano, a partir de la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$, de la función de transmisión en arista $K(x)$, o de la función de transmisión de potencia de apertura complementaria $\alpha(x)$; en el dominio de unión desplazada, a partir del cuadrado de la función de autocorrelación $T(\delta)$; y en el dominio de campo próximo, a partir de la distribución de intensidad de campo próximo $f^2(r)$, de acuerdo con las definiciones equivalentes que aparecen en el § A.1 del anexo A a la Recomendación G.652.

B.1.1.2 *Aparato de prueba*

B.1.1.2.1 *Generalidades*

Para las mediciones de campo próximo, es necesario que el dispositivo óptico de ampliación cree una imagen del extremo de salida de la fibra en el plano del detector. Para las mediciones de unión desplazada, se necesita un medio para desplazar la cara del extremo de una fibra respecto de la de otra. Para las tres mediciones de campo lejano, son necesarios dispositivos de exploración adecuados.

B.1.1.2.2 *Fuente luminosa*

La fuente luminosa será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de la fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo.

B.1.1.2.3 *Modulación*

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. La característica de sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.1.1.2.4 *Condiciones de inyección*

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental (LP_{01}). Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra;
- b) la inyección con un sistema óptico adecuado.

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior. A tal fin puede que haga falta introducir un bucle de radio adecuado u otro filtro de modos para suprimir los modos de orden superior.

B.1.1.2.5 *Supresores de modos de revestimiento*

Se tomarán precauciones para evitar la propagación y detección de modos de revestimiento.

B.1.1.2.6 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Se retirará el recubrimiento primario de la sección de la fibra inserta en el supresor de modos, si se utiliza. Los extremos de la fibra estarán limpios, lisos y perpendiculares a los ejes de la fibra. Se recomienda que las caras terminales sean planas y perpendiculares a los ejes de la fibra, con una tolerancia de 1° . Para la técnica de unión desplazada, la fibra se cortará en dos mitades aproximadamente iguales.

B.1.1.2.7 *Equipo de descentrado o exploración*

Debido a que las fibras especificadas en la Recomendación G.653 se caracterizan por tener distribuciones de intensidad de campo cercano más estrechas y distribuciones de intensidad de campo lejano más anchas que las especificadas en la Recomendación G.652, deberán tomarse las precauciones adicionales enumeradas más abajo.

Se utilizará uno de los siguientes dispositivos:

I *Dominio de campo lejano*

a) *Sistema de exploración de campo lejano*

Se utilizará un mecanismo para explorar la distribución de intensidad de campo lejano (por ejemplo, un fotodetector de exploración con abertura de microorificio o un fotodetector de exploración con extremo de tallo de fibra). La exploración puede ser angular o lineal. El detector debe estar al menos a 20 mm del extremo de la fibra, y la superficie activa del detector no debe subtender un ángulo demasiado grande en el campo lejano. Esto puede conseguirse colocando el detector a una distancia del extremo de fibra superior a $20wb/\lambda$ donde $2w$ es el diámetro del campo modal previsto de la fibra a medir, y b el diámetro de la superficie activa del detector. El semiángulo de exploración deberá ser de 25° o más. Alternativamente, la exploración deberá extenderse, por lo menos hasta un valor de -50 dB con respecto a la intensidad del ángulo cero.

b) *Conjunto de arista*

Se necesita un mecanismo para explorar una arista linealmente, en una dirección ortogonal al eje de la fibra y al borde de la arista. La luz transmitida por la arista es captada y enfocada hacia el detector. El dispositivo de colección debe tener una AN de 0,4 o más.

c) *Conjunto de apertura*

Debe utilizarse un mecanismo que comprenda al menos 12 aperturas que cubran la gama de semiángulos de apertura numérica de 0,02 a 0,4. La luz transmitida por la apertura es captada y enfocada hacia el detector.

II *Dominio de unión desplazada*

Unión desplazada

La unión se construirá de manera que pueda ajustarse el desplazamiento relativo de los ejes de la fibra. Se recomienda disponer de un aparato que permita medir el desplazamiento con una precisión de 0,1 μm . La potencia óptica transmitida a través de la unión pasante es medida por un detector. Se tendrá particular cuidado con la precisión y exactitud del equipo de descentrado.

III *Dominio de campo próximo*

Dispositivo óptico de imaginización de campo próximo

Se utilizará un dispositivo óptico de ampliación (por ejemplo, un objetivo de microscopio) para agrandar y enfocar una imagen del campo próximo de la fibra en el plano de un detector de exploración (por ejemplo, un fotodetector de exploración con abertura de microorificio, o un fotodetector de exploración de tallo de fibra). La apertura numérica y la ampliación serán tales que resulten compatibles con la resolución espacial deseada. Para la calibración, se medirá la ampliación del dispositivo óptico explorando la longitud de una muestra cuyas dimensiones se conozcan independientemente con suficiente exactitud.

Nota – La apertura numérica del dispositivo óptico de recogida debe ser suficientemente grande para que no afecte a los resultados de medición.

B.1.1.2.8 *Detector*

Se utilizará un detector adecuado, que debe tener una característica de sensibilidad lineal.

B.1.1.2.9 *Amplificador*

Se utilizará un amplificador para poder aumentar el nivel de señal.

B.1.1.2.10 *Recogida de datos*

El nivel de señal medido se registrará y procesará con arreglo a la técnica utilizada.

B.1.1.2.11 *Procedimiento de medición*

El extremo de inyección de la fibra se alineará con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alineará con el dispositivo de salida apropiado.

Debe seguirse uno de los siguientes procedimientos:

I *Dominio de campo lejano*

- a) Haciendo una exploración del detector en pasos fijos se mide la distribución de intensidad en campo lejano, $F^2(q)$, y se calcula el diámetro del campo modal por la ecuación (1) del § A.1 del anexo A.
- b) Se mide la potencia transmitida por la arista en función de la posición de la arista. Esta función, $K(x)$ es diferenciada, y el diámetro del campo modal se determina por la ecuación (2) del § A.1 del anexo A.
- c) Se mide la potencia transmitida por cada apertura, $P(x)$, y se determina la función de transmisión de apertura complementaria, $a(x)$, por:

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{\text{máx}}}$$

donde $P_{\text{máx}}$ es la potencia transmitida por la apertura más grande y x es el radio de apertura. El diámetro del campo modal se calcula por la ecuación (3) del § A.1 del anexo A.

II *Dominio de unión desplazada*

Desplazando por pasos la unión en sentido transversal, se mide el coeficiente de transmisión de potencia $T(\delta)$, y el diámetro de campo de modo se calcula por la ecuación (4) del § A.1 del anexo A.

III *Dominio de campo próximo*

El campo próximo de la fibra se agranda por medio del dispositivo óptico de aumento y se enfoca en el plano del detector. Este enfoque se realizará con la máxima exactitud, para reducir los errores dimensionales debidos a la exploración de una imagen desenfocada. Se explora la distribución de intensidad de campo próximo, $f^2(r)$, y se calcula el diámetro del campo modal por la ecuación (5) del § A.1 del anexo A. En lugar de ello, la distribución de intensidades de campo próximo $f^2(r)$ puede transformarse en el dominio de campo lejano mediante una transformación de Hankel, y el campo lejano transformado resultante, $F^2(q)$, puede utilizarse para calcular el diámetro del campo de modo por la ecuación (1) del § A.1 del anexo A.

B.1.1.2.12 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) Técnica de medición utilizada, incluidos la configuración de prueba, la gama dinámica del sistema de medición, los algoritmos de procesamiento y una descripción de los dispositivos de imaginización, desplazamiento o exploración utilizados (incluyendo el ángulo de exploración o la AN, en su caso).
- b) Si se utiliza la técnica de unión desplazada, debe indicarse el método de ajuste utilizado.
- c) Condiciones de inyección.
- d) Longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad de la fuente.
- e) Identificación y longitud de la fibra.
- f) Tipo de supresor de modos de revestimiento y filtro (si se aplica).
- g) Ampliación óptica del equipo (si se aplica).
- h) Tipo y dimensiones del detector.
- i) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario).
- j) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- k) Diámetro del campo modal.

Nota – Al igual que con otros métodos de prueba, el equipo y el procedimiento anteriormente indicados corresponden únicamente a las características básicas del método de prueba de referencia. Se supone que la instrumentación detallada incorporará todas las medidas necesarias para garantizar la estabilidad, la eliminación del ruido, la relación señal/ruido necesaria, etc.

B.2 – Sección II – *Métodos de prueba para las características geométricas, excluido el diámetro del campo modal*

B.2.1 *Método de prueba de referencia: técnica del campo próximo transmitido.*

B.2.1.1 *Generalidades*

La técnica del campo próximo transmitido se utilizará para la medición de las características geométricas de las fibras ópticas monomodo. Dichas mediciones se realizan en forma consecuyente con las definiciones pertinentes.

La medición se basa en la exploración de la imagen (o imágenes) ampliada del extremo de salida de la fibra a prueba en la sección (o secciones) transversal en que se coloca el detector.

B.2.1.2 *Aparato de prueba*

La figura B-1/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.1.2.1 *Fuente luminosa*

Una fuente luminosa de longitud de onda nominal 1550 nm será ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de esta fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo. Si es necesario, puede utilizarse una segunda fuente luminosa de características similares para iluminar el revestimiento. Las características espectrales de la segunda fuente luminosa no deben causar desenfoque de la imagen.

B.2.1.2.2 *Condiciones de inyección*

El dispositivo óptico de inyección, que se dispondrá de modo que cubra completamente la fibra, enfocará un haz de luz sobre el extremo de entrada plano de la fibra.

B.2.1.2.3 *Filtro de modos*

En la medición es necesario garantizar el funcionamiento monomodo en la longitud de onda de medición. En estos casos puede ser necesario introducir una curvatura para eliminar el modo LP_{11} .

B.2.1.2.4 *Supresor de modos de revestimiento*

Se empleará un supresor de modos de revestimiento adecuado para eliminar la potencia óptica que se propaga por el revestimiento. Cuando se miden solamente las características geométricas del revestimiento, el supresor de modos de revestimiento no estará presente.

B.2.1.2.5 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Los extremos de la fibra estarán limpios y lisos, y perpendiculares al eje de la fibra.

B.2.1.2.6 *Dispositivo óptico de ampliación*

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo próximo de salida del espécimen, y lo enfoca sobre el plano del detector de exploración. La apertura numérica, y por ende el poder de resolución del dispositivo óptico, será compatible con la exactitud de medición requerida y no inferior a 0,3. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada y se registrará.

En los dispositivos ópticos de ampliación podrían utilizarse técnicas de recorte de imágenes para conseguir mediciones exactas.

Nota – La validez de la técnica de recorte de imágenes está en estudio, y necesita ser confirmada.

B.2.1.2.7 *Detector*

Se utilizará un detector apropiado que proporcione la intensidad punto a punto del diagrama (o diagramas) de campo próximo transmitido. Por ejemplo, podrá utilizarse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) fotodetector de exploración con abertura de microorificio;
- b) espejo de exploración con abertura de microorificio fijo y fotodetector;
- c) vidicon de exploración, dispositivos acoplados por carga u otros dispositivos de reconocimiento de diagrama/intensidad;

El detector tendrá un comportamiento lineal (o será linealizado) en la gama de intensidades encontrada.

B.2.1.2.8 *Amplificador*

Se utilizará un amplificador para aumentar el nivel de la señal. Su anchura de banda se escogerá según el tipo de exploración utilizado. Cuando se explora el extremo de salida de la fibra con sistemas mecánicos u ópticos, suele modularse la fuente óptica. Cuando se adopta este procedimiento, el amplificador deberá estar asociado a la frecuencia de modulación de la fuente.

B.2.1.2.9 *Recogida de datos*

La distribución de intensidad medida puede registrarse y presentarse en forma adecuada, con arreglo a la técnica de exploración y los requisitos de especificación.

B.2.1.3 *Procedimiento*

B.2.1.3.1 *Calibración del equipo*

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la imagen de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

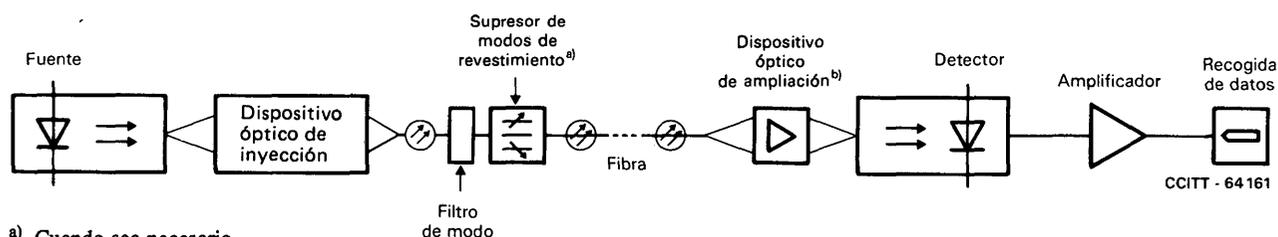
B.2.1.3.2 Medición

El extremo de inyección de la fibra se alinearán con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alinearán con el eje óptico del dispositivo óptico de ampliación (cuando se utilice). Para las mediciones de campo próximo, la imagen (o imágenes) enfocada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector de acuerdo con los requisitos de especificación. El enfoque se efectuará con la máxima exactitud, a fin de reducir los errores de dimensión debidos a la exploración de una imagen desenfocada. Después se calculan los parámetros geométricos deseados de acuerdo con las definiciones.

B.2.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- configuración de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- condiciones de inyección;
- características espectrales de la fuente (o fuentes);
- identificación y longitud de la fibra;
- tipo de filtro de modos (en su caso);
- ampliación del dispositivo óptico;
- tipo y dimensiones del detector de exploración;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- indicación de exactitud y repetibilidad;
- parámetros dimensionales resultantes, como diámetros del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.



a) Cuando sea necesario.

b) Incluye dispositivos ópticos de recorte de imagen, cuando proceda.

FIGURA B-1/G.652

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo transmitido

B.2.2 Método de prueba alternativo: técnica del campo próximo refractado

Esta técnica se describe en la Recomendación G.651. Los niveles de decisión en los diversos interfaces de diferencia de índice de refracción se definen como sigue:

Núcleo/revestimiento	50%
Revestimiento/fluido adaptador del índice	50%

Pueden efectuarse análisis geométricos, con arreglo a lo indicado en el anexo A a la Recomendación G.652, por exploración de barrido por cuadrículas del punto luminoso de entrada.

B.2.3 Método de prueba alternativo: método de visión lateral

Es necesario confirmar la validez del método de la vista lateral en cuanto a las fibras de la Recomendación G.653.

B.2.3.1 Objetivo

El método de visión lateral se aplica a las fibras monomodo para determinar los parámetros geométricos [error de concentricidad de campo modal (ECCM)], diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento midiendo la distribución de intensidades de la luz que se refracta dentro de la fibra.

B.2.3.2 *Aparato de prueba*

La figura B-2/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.3.2.1 *Fuente luminosa*

La luz emitida será colimada, ajustable en intensidad y estable en posición de intensidad y longitud de onda durante un periodo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Puede utilizarse una fuente luminosa estable y de gran intensidad, tal como un diodo fotoemisor (LED).

B.2.3.2.2 *Espécimen*

El espécimen a medir será un tramo corto de la fibra monomodo. Se retirará el recubrimiento primario de la fibra de la sección observada de la misma. La superficie de la fibra se mantendrá limpia durante la medición.

B.2.3.2.3 *Dispositivo óptico de ampliación*

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía la distribución de intensidad de la luz refractada dentro de la fibra sobre el plano de detector de exploración. El plano de observación se dispondrá a una distancia fija delante del eje de la fibra. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada, y se registrará.

B.2.3.2.4 *Detector*

Se utilizará un detector apropiado para determinar la distribución de intensidad ampliada en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular al eje de la fibra. Puede utilizarse un vidicon o un dispositivo acoplado por carga en la gama de medición requerida. La resolución del detector será compatible con la resolución espacial deseada.

B.2.3.2.5 *Procesamiento de los datos*

Se utilizará un computador con soporte lógico apropiado para el análisis de las distribuciones de intensidad.

B.2.3.3 *Procedimiento*

B.2.3.3.1 *Calibración del equipo*

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la longitud de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

B.2.3.3.2 *Medición*

La fibra a prueba se fija en el portamuestras y se pone en el sistema de medición. Se ajusta la fibra de manera que su eje sea perpendicular al eje óptico del sistema de medición.

Se registran las distribuciones de intensidad (presentadas como \boxed{B}) en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular al eje de la fibra $\textcircled{a}-\textcircled{a}'$ en A la figura B-2/G.562 para diferentes direcciones de observación, girando la fibra en torno a su eje, y manteniendo constante la distancia entre el eje de la fibra y el plano de observación. El diámetro del revestimiento y la posición central de la fibra se determinan analizando la simetría del diagrama de difracción (presentado como \textcircled{b}). La posición central del núcleo se determina analizando la distribución de intensidades de la luz convergida (presentada como \textcircled{c}). La distancia entre la posición central de la fibra y la del núcleo corresponde al valor observado nominal del ECCM.

Como se muestra en la figura B-3/G.652, ajustando la función sinusoidal a los valores experimentales obtenidos del ECCM representado en función del ángulo de rotación, el ECCM real se calcula como el producto de la máxima amplitud de la función sinusoidal y el factor de ampliación con respecto al efecto lente debido a la estructura cilíndrica de la fibra. El diámetro del revestimiento se evalúa como valor promediado de los diámetros medidos de la fibra para cada ángulo de rotación, que dan lugar a valores de los diámetros máximo y mínimo para determinar el valor de la no circularidad del revestimiento con arreglo a la definición.

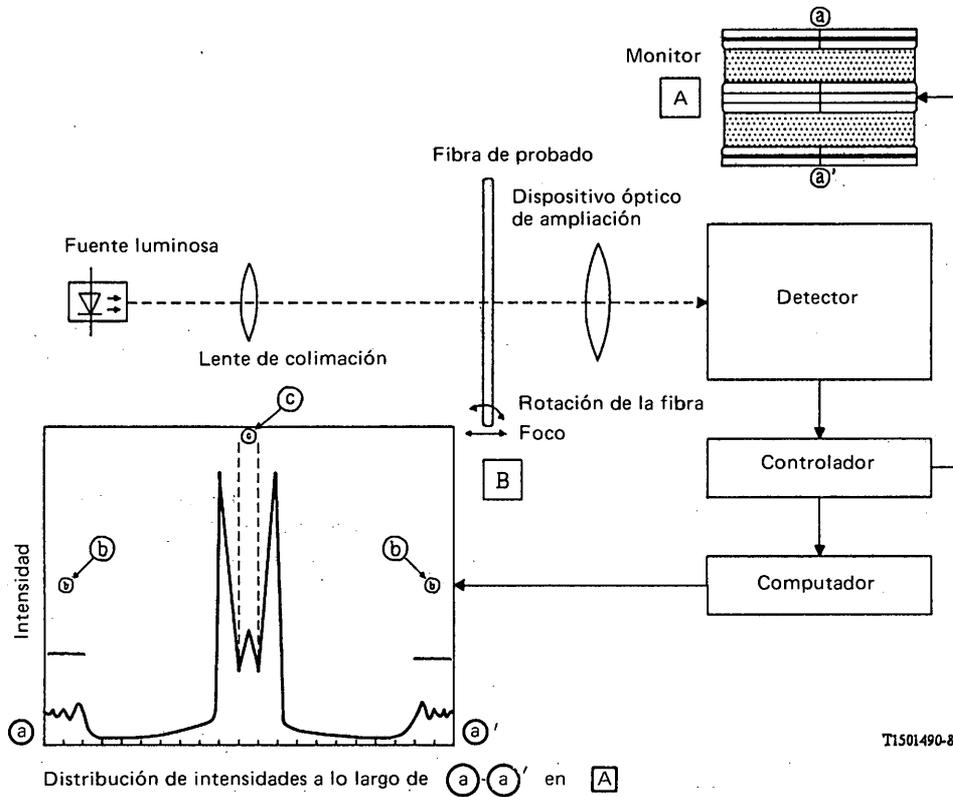


FIGURA B-2/G.652

Diagrama esquemático del sistema de medición

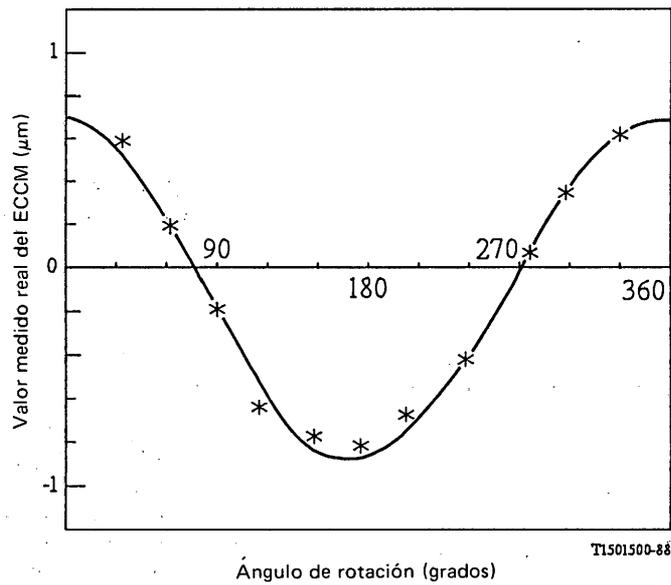


FIGURA B-3/G.652

Valor medido del ECCM en función del ángulo de rotación

B.2.3.3.3 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba;
- b) identificación de la fibra;
- c) características espectrales de la fuente;
- d) indicación de repetibilidad y exactitud;
- e) representación del ECCM en función del ángulo de rotación;
- f) ECCM, diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

B.2.4 *Método de prueba de referencia: técnica de imagen del campo próximo transmitido*

B.2.4.1 *Generalidades*

La técnica de imagen del campo próximo transmitido se utilizará para la medición de las características geométricas de las fibras ópticas monomodo. Dichas mediciones se realizan en forma consecuente con las definiciones pertinentes.

La medición se basa en el análisis de la imagen (o imágenes) ampliada del extremo de salida de la fibra a prueba.

B.2.4.2 *Aparato de prueba*

La figura B-4/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.4.2.1 *Fuente luminosa*

La fuente luminosa para iluminar el núcleo será ajustable en intensidad y estable en posición de intensidad durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Si es necesario, puede utilizarse una segunda fuente luminosa de características similares para iluminar el revestimiento. Las características espectrales de la segunda fuente luminosa no deben causar desenfoque de la imagen.

B.2.4.2.2 *Condiciones de inyección*

El dispositivo óptico de inyección, que se dispondrá de modo que cubra completamente la fibra, enfocará el haz de luz sobre el extremo de entrada plano de la fibra.

B.2.4.2.3 *Supresor de modos de revestimiento*

Se utilizará un supresor de modos de revestimiento adecuado para eliminar la potencia óptica que se propaga por el revestimiento. Cuando se miden solamente las características geométricas del revestimiento, el supresor de modos de revestimiento no estará presente.

B.2.4.2.4 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Los extremos de la fibra están limpios y lisos, y perpendiculares al eje de la fibra.

B.2.4.2.5 *Dispositivo óptico de ampliación*

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo próximo de salida del espécimen, y lo enfoca sobre el plano del detector de exploración. La apertura numérica, y por ende el poder de resolución del dispositivo óptico, será compatible con la exactitud de medición requerida y no inferior a 0,3. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada, y se registrará.

En los dispositivos ópticos de ampliación podrían utilizarse técnicas de recorte de imágenes para conseguir mediciones exactas.

B.2.4.2.6 Detección

Se examinará y/o analizará la imagen de la fibra. Por ejemplo, podrá utilizarse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) recorte de imágenes¹⁾;
- b) análisis de escala de grises de una imagen electrónicamente registrada.

B.2.4.2.7 Recogida de datos

Los datos pueden registrarse, procesarse y presentarse en forma adecuada, con arreglo a la técnica de exploración y los requisitos de especificación.

B.2.4.3 Procedimiento

B.2.4.3.1 Calibración del equipo

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la imagen de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

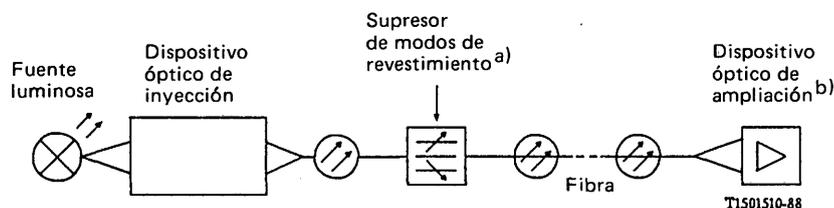
B.2.4.3.2 Medición

El extremo de inyección de la fibra se alineará con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alineará con el eje óptico del dispositivo óptico de ampliación. Para las mediciones de campo próximo, la imagen (o imágenes) enfocada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector de acuerdo con los requisitos de especificación.

Deben minimizarse los errores de desenfoque, a fin de reducir los errores de dimensión en las mediciones. Después se calculan los parámetros geométricos deseados.

B.2.4.4 Presentación de los resultados

- a) configuración de prueba, con indicación de la técnica utilizada;
- b) condiciones de inyección;
- c) características espectrales de la fuente;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) ampliación del dispositivo óptico;
- f) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario);
- g) indicación de exactitud y repetibilidad;
- h) parámetros dimensionales resultantes, como diámetro del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.



- a) Cuando sea necesario.
- b) Incluye dispositivo óptico de recorte de imágenes, cuando es necesario.

FIGURA B-4/G.652

¹⁾ La validez de la técnica de recorte de imágenes está en estudio, y necesita ser confirmada.

B.3 – Sección III – Método de prueba para la longitud de onda de corte

B.3.1 Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte (λ_c) de la fibra con recubrimiento primario: técnica de la potencia transmitida

B.3.1.1 Objetivo

La medición de la longitud de onda de corte de fibras monomodo tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

B.3.1.2 Técnica de la potencia transmitida

Este método utiliza la variación con la longitud de onda de la potencia transmitida de un tramo corto de la fibra que se prueba, en condiciones definidas, comparada con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esta potencia de referencia:

- a) la fibra de prueba con un bucle de radio más pequeño, o
- b) un tramo corto (1 a 2 m) de fibra multimodo.

B.3.1.2.1 Aparato de prueba

B.3.1.2.1.1 Fuente luminosa

Se utilizará una fuente luminosa de anchura espectral a amplitud mitad que no exceda de 10 nm, estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicarse el procedimiento de medición completo.

B.3.1.2.1.2 Modulación

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. El sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.3.1.2.1.3 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección deben usarse de tal forma que exciten de una manera prácticamente uniforme los modos LP_{01} y LP_{11} . Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra multimodo, o
- b) la inyección con una mancha luminosa suficientemente ancha (dispositivo óptico de gran apertura numérica).

B.3.1.2.1.4 Supresor de modos de revestimiento

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación; como resultado, los modos propagados por el revestimiento son suprimidos de la fibra. Se tendrá cuidado de evitar que se afecte a la propagación del modo LP_{11} .

B.3.1.2.1.5 Detector óptico

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. El detector debe ser uniforme y tener sensibilidad lineal.

B.3.1.2.2 Procedimiento

B.3.1.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un largo de fibra de 2 m. La fibra se inserta en el equipo de prueba y se flexiona para formar un bucle poco apretado. El bucle dará la vuelta completa a un círculo de 140 mm de radio. El resto de la fibra estará prácticamente libre de tensiones externas. Aunque se admiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio, no deben introducir cambios significativos en el resultado de la medición. Se registrará la potencia de salida $P_1(\lambda)$ en función de λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Nota – La presencia de un recubrimiento primario por lo general no afecta a la longitud de onda de corte. Por el contrario, la presencia de un recubrimiento secundario puede hacer que la longitud de onda de corte sea sensiblemente más corta que la de la fibra que sólo tiene un recubrimiento primario.

B.3.1.2.2.2 Transmisión a través de la muestra de referencia

Puede utilizarse el método a) o el b).

- a) utilizando la muestra de prueba, y manteniendo fijas las condiciones de inyección, se mide una potencia de salida $P_2(\lambda)$ en la misma gama de longitudes de onda con un bucle al menos de radio suficientemente pequeño en la muestra de prueba para filtrar el modo LP_{11} . Un valor típico del radio para este bucle es 30 mm;
- b) con un tramo corto (1-2 m) de fibra multimodo, se mide una potencia de salida $P_3(\lambda)$ en la misma gama de longitudes de onda.

Nota – La presencia de modos de fuga puede producir rizado en el espectro de transmisión de la fibra multimodo de referencia, lo que afecta al resultado de la medición. A fin de reducir este efecto, la inyección de la luz puede limitarse de modo que sólo comprende el 70% del diámetro del núcleo y la apertura numérica de la fibra multimodo; otra posibilidad consiste en utilizar un filtro de modo adecuado.

B.3.1.2.2.3 Cálculos

La relación logarítmica entre las potencias transmitidas $P_1(\lambda)$ y $P_i(\lambda)$ se calcula por la fórmula:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)]$$

donde

$i = 2$ ó 3 para el método a) o b) respectivamente.

Nota 1 – En el método a), el pequeño bucle forma un filtro de modo que elimina todos los modos, con excepción del fundamental, que se propagan a longitudes de onda superiores a una longitud de onda situada a unas cuantas decenas de nm por debajo de la longitud de onda de corte λ_c . A longitudes de onda de más de unas centenas de nm por encima de λ_c , el bucle puede producir una gran atenuación, del modo fundamental. $R(\lambda)$ es igual a la relación logarítmica entre la potencia total que emerge de la muestra, incluida la del modo LP_{11} , y la potencia del modo fundamental. Cuando los modos son excitados uniformemente de acuerdo con el § B.1.2.1.3, $R(\lambda)$ da también la atenuación del modo LP_{11} $A(\lambda)$ en dB, en la muestra que se prueba:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda)/P_2(\lambda) - 1)/2]$$

B.3.1.2.2.4 Determinación de la longitud de onda de corte

Si se utiliza el método a), λ_c se determina como la mayor longitud de onda a la cual $R(\lambda)$ es igual a 0,1 dB (véase la figura B-5/G.652).

Si se utiliza el método b), λ_c se determina por la intersección de la curva de $R(\lambda)$ y la recta (2) desplazada 0,1 dB y paralela a la recta (1) ajustada a la parte de longitud de onda grande de $R(\lambda)$ (véase la figura B-6/G.652).

Nota – Según la definición, la atenuación del modo LP_{11} en la muestra sometida a prueba es 19,3 dB a la longitud de onda de corte.

B.3.1.2.2.5 Presentación de los resultados

- a) configuración de prueba;
- b) condición de inyección;
- c) tipo de muestra de referencia;
- d) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) gama de longitudes de onda de medición;
- g) longitud de onda de corte;
- h) representación de $R(\lambda)$ (si es necesario).

B.3.2 Método de prueba alternativo para λ_c : técnica del mandril dividido

B.3.2.1 Objetivo en B.3.2.2.1.5 Detector óptico (igual que B.3.1.1 a B.3.1.2.1.5)

B.3.2.2.2 Procedimiento

B.3.2.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

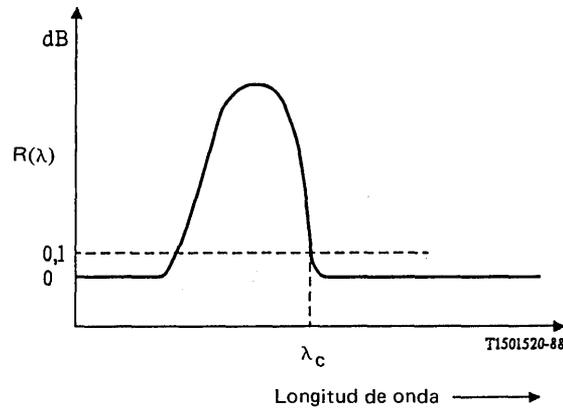


FIGURA B-5/G.652

Representación típica de la longitud de onda de corte utilizando una referencia monomodo

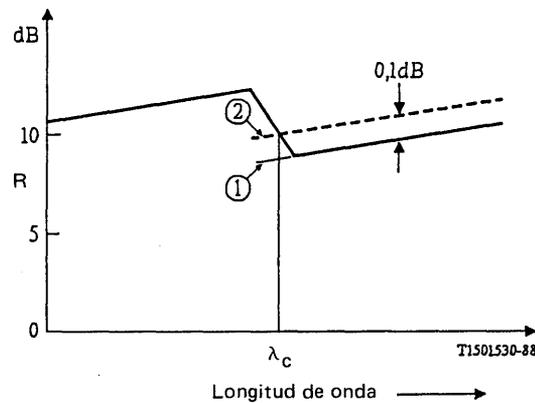


FIGURA B-6/G.652

Representación típica de la longitud de onda de corte utilizando una referencia multimodo

La medición se efectuará con un largo de fibra de 2 m. La fibra se inserta en el equipo de prueba y se curva para formar un bucle poco apretado. El bucle contendrá una vuelta completa (360 grados) compuesta por dos arcos (180 grados cada uno) de 140 mm de radio unidos por tangentes. El resto de la fibra estará prácticamente libre de tensiones externas. Aunque se admiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio, no deben introducir cambios significativos en el resultado de la medición. Se registrará la potencia de salida, $P_1(\lambda)$, en función de λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Como se ve en la figura B-7/G.652, el mandril semicircular inferior se desplaza para eliminar cualquier holgura del bucle de fibra, sin que haya que desplazar el dispositivo óptico de inyección o recepción y sin aplicar a la muestra de fibra ninguna tensión mecánica significativa.

B.3.2.2.2.2 a B.3.2.2.2.5 (igual que B.3.1.2.2.2 a B.3.1.2.2.5)

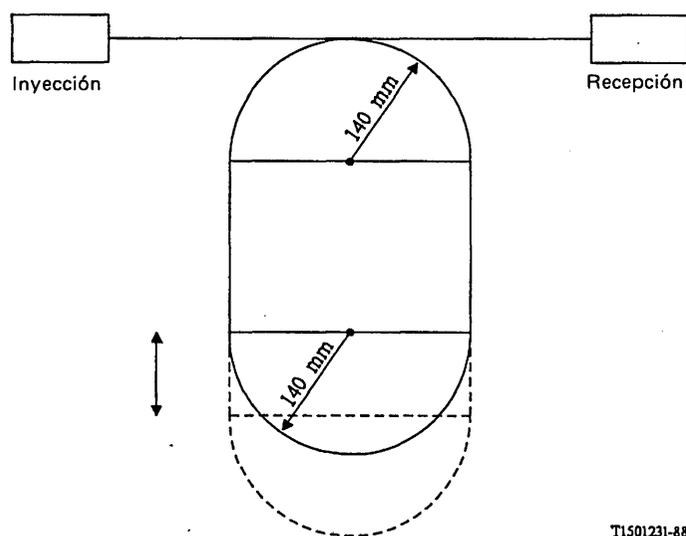


FIGURA B-7/G.652

**Instalación de la fibra:
Longitud de onda de corte por la técnica del mandril dividido**

B.3.3 *Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte de la fibra cableada (λ_{cc}): técnica de la potencia transmitida*

B.3.3.1 *Objetivo*

Esta medición de la longitud de onda de corte, que se efectúa en fibras monomodo cableadas en condiciones de instalación que simulan las longitudes de cable mínimas de la planta externa, tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

B.3.3.2 *Técnica de la potencia transmitida*

Este método utiliza la variación con la longitud de onda de la potencia transmitida del cable de fibra sometido a prueba, en condiciones definidas, por comparación con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esa potencia de referencia:

- a) la fibra cableada de prueba con un bucle de radio más pequeño;
- b) un tramo corto (1 a 2 metros) de fibra multimodo.

B.3.3.2.1 *Aparato de prueba*

B.3.3.2.1.1 *Fuente luminosa* (igual que B.3.1.2.1.1)

B.3.3.2.1.2 *Modulación* (igual que B.3.1.2.1.2)

B.3.3.2.1.3 *Condiciones de inyección* (igual que B.3.1.2.1.3)

B.3.3.2.1.4 *Supresor de modos de revestimiento* (igual que B.3.1.2.1.4)

B.3.3.2.1.5 *Detector óptico* (igual que B.3.1.2.1.5)

B.3.3.2.2 Procedimiento

B.3.3.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un tramo de fibra monomodo en cable. Se preparará un tramo de cable de 22 m, dejando expuesto en cada extremo 1 m de fibra no cableada, y los 20 m restantes de cable se tenderán sin ninguna curvatura que pueda afectar el valor de la medición. Para simular los efectos de un organizador de empalmes, se hará un bucle de XX mm de radio en cada tramo de fibra no cableada (véase la figura B-8/G.652). Aunque se admiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio en la fibra o el cable, no deben introducir cambios significativos en las mediciones. Se registrará la potencia de salida $P_i(\lambda)$ en función de λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Nota — El valor de XX está en estudio. Algunas Administraciones indicaron que es apropiado un valor de 45 mm. Estos bucles tienen por objeto simular las condiciones de instalación, según la práctica de una determinada Administración. Otra posibilidad es eliminar los bucles, si esa es la práctica de la Administración.

B.3.3.2.2.2 Transmisión por la muestra de referencia (igual que B.3.1.2.2.2)

B.3.3.2.2.3 Cálculos

La relación logarítmica entre las potencias transmitidas $P_i(\lambda)$ y $P_r(\lambda)$ se calcula por la expresión

$$R(\lambda) = 10 \log [P_i(\lambda) / P_r(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

donde $i = 2$ ó 3 para el método a) o b) respectivamente.

B.3.3.2.2.4 Determinación de la longitud de onda de corte de la fibra cableada

Si se utiliza el método a), λ_{cc} se determina como la longitud de onda más grande a la que $R(\lambda)$ es igual a 0,1 dB (véase la figura B-5/G.652). Si se utiliza el método b), λ_{cc} viene determinada por la intersección de una representación gráfica de $R(\lambda)$ y una línea recta (2) desplazada 0,1 dB y paralela a la línea recta (1) ajustada a la porción de longitud de onda larga de $R(\lambda)$ (véase la figura B-6/G.652).

B.3.3.2.2.5 Presentación de los resultados

- configuración de prueba;
- condición de inyección;
- tipo de muestra de referencia;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- identificación de la fibra y del cable;
- gama de longitudes de onda de medición;
- longitud de onda de corte de la fibra cableada;
- representación gráfica de $R(\lambda)$ (si es necesario).

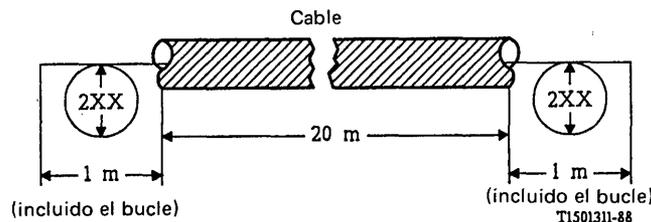


FIGURA B-8/G.652

Condición de instalación para la medición de la longitud de onda de corte de una fibra cableada

B.4 – Sección IV – Métodos de prueba para las mediciones de atenuación

B.4.1 Introducción

B.4.1.1 Objetivos

Las pruebas de atenuación están destinadas a proporcionar un medio por el cual pueda asignarse un cierto valor de atenuación a un largo de fibra, de modo que los valores de atenuación individuales puedan sumarse para determinar la atenuación total de un largo concatenado.

B.4.1.2 Definición

La atenuación $A(\lambda)$ a una longitud de onda λ entre dos secciones transversales de una fibra, separadas por una distancia L , se define como sigue:

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

donde $P_1(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 1, y $P_2(\lambda)$ la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 2 a la longitud de onda λ .

Para una fibra uniforme, es posible definir una atenuación por unidad de longitud o un coeficiente de atenuación:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{dB/unidad de longitud}) \quad (2)$$

que es independiente de la longitud de la fibra.

Nota – Los valores de atenuación especificados para largos de fabricación deben medirse a temperatura ambiente (es decir, a un único valor de la gama de 10 a 35 °C).

B.4.2 Método de prueba de referencia: técnica de la fibra cortada

La técnica de la fibra cortada es una aplicación directa de esta definición, en la cual los niveles de potencia P_1 y P_2 se miden en dos puntos de la fibra sin modificar las condiciones de entrada. P_2 es la potencia que sale del extremo lejano de la fibra y P_1 la potencia que sale de un punto próximo a la entrada después del punto de corte de la fibra.

B.4.2.1 Aparato de prueba

Las mediciones pueden efectuarse a una o más longitudes de onda puntuales, o bien puede requerirse una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. La figura B-9/G.652 presenta como ejemplos diagramas de equipos de prueba adecuados.

B.4.2.1.1 Fuente óptica

Se utilizará una fuente de radiación apropiada, como una lámpara, un láser o un diodo fotoemisor. La elección de la fuente depende del tipo de medición. La fuente ha de ser estable en posición, intensidad y la longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. La anchura espectral a amplitud mitad se especificará de modo que la anchura de raya sea estrecha en relación con cualquiera de las características de atenuación espectral de la fibra.

B.4.2.1.2 Modulación

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente luminosa. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.4.2.1.3 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental. Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra;
- b) la inyección con un sistema óptico apropiado.

B.4.2.1.4 Filtro de modos

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior por el largo de corte. A tal fin puede que haga falta introducir una curvatura para suprimir los modos de orden superior.

B.4.2.1.5 *Supresor de modos de revestimiento*

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación; como resultado, los modos de revestimiento son suprimidos de la fibra.

B.4.2.1.6 *Detector óptico*

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. El detector debe ser uniforme y tener una característica de sensibilidad lineal.

B.4.2.2 *Procedimiento de medición*

B.4.2.2.1 *Preparación de la fibra a probar*

Los extremos de la fibra estarán muy limpios y lisos, y serán perpendiculares al eje de la fibra. Las mediciones en fibras que no forman parte de cables deberán efectuarse con la fibra suelta en el tambor, para que la superficie de éste no produzca efectos de microflexión.

B.4.2.2.2 *Procedimiento*

- 1) La fibra a probar se coloca en la configuración de prueba. Se registra la potencia de salida P_2 .
- 2) Manteniendo fijas las condiciones de inyección, se corta la fibra a la longitud de corte escogida (por ejemplo, a 2 m del punto de inyección). Si es necesario utilizar un supresor de modos de revestimiento, se reajusta este dispositivo y se registra la potencia de salida P_1 del tramo de fibra cortada.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido P_1 y P_2 puede calcularse a partir de la definición, utilizando los valores hallados de P_1 y P_2 .

B.4.2.2.3 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda y anchura espectral amplitud mitad;
- b) identificación de la fibra;
- c) longitud de la muestra;
- d) atenuación de la muestra, en dB;
- e) coeficiente de atenuación, en dB/km;
- f) indicación de exactitud y repetibilidad;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

B.4.3 *Primer método de prueba alternativo: técnica del retroesparcimiento*

Nota – Este método de prueba describe un procedimiento para medir la atenuación de una muestra homogénea de cable de fibra óptica monomodo. La técnica puede aplicarse para comprobar la continuidad óptica, defectos físicos, empalmes, luz retroesparcida de los cables de fibra óptica y la longitud de la fibra.

B.4.3.1 *Condiciones de inyección*

El haz de inyección incidirá coaxialmente sobre el extremo de inyección de la fibra. Pueden utilizarse diversos dispositivos, tales como un adaptador de índices para reducir las reflexiones de Fresnel. Se minimizará la pérdida por acoplamiento.

B.4.3.2 *Equipo y procedimiento*

B.4.3.2.1 *Consideraciones generales*

El nivel de señal de la señal óptica retroesparcida será normalmente pequeño y próximo al nivel de ruido. A fin de mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica suele por tanto utilizarse una fuente luminosa de alta potencia en relación con el procesamiento de la señal detectada. Además, para una resolución espacial exacta puede requerirse el ajuste de la anchura de los impulsos a fin de obtener un compromiso entre la resolución y la energía de los impulsos. Se tendrá especial cuidado de minimizar las reflexiones de Fresnel.

Asimismo, se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior.

En la figura B-10a/G.652 se muestra un ejemplo del equipo.

B.4.3.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente óptica de alta potencia de una longitud de onda adecuada. Deberá registrarse la longitud de onda de la fuente. La anchura de los impulsos y la frecuencia de repetición deben ser consecuentes con la resolución deseada y la longitud de la fibra. En la parte de la fibra que se prueba no deberán producirse efectos ópticos no lineales.

B.4.3.2.3 Dispositivo de acoplamiento

El dispositivo de acoplamiento es necesario para acoplar la radiación de la fuente a la fibra y la radiación retroesparcida al detector, a la vez que se evita un acoplamiento directo de la fuente con el detector. Pueden utilizarse varios dispositivos, pero deben evitarse los dispositivos basados en efectos de polarización.

B.4.3.2.4 Detección óptica

Se utilizará un detector a fin de interceptar la máxima potencia retroesparcida posible. La respuesta del detector será compatible con los niveles y longitudes de onda de la señal detectada. Para las mediciones de atenuación, la respuesta del detector será prácticamente lineal.

Se requiere el procesamiento de la señal para mejorar la relación señal/ruido, y es conveniente disponer de una respuesta logarítmica en el sistema de detección.

Un amplificador apropiado seguirá al detector óptico, de modo que el nivel de señal sea el adecuado para el procesamiento de la misma. La anchura de banda del amplificador se escogerá como un compromiso entre la resolución temporal y la reducción del ruido.

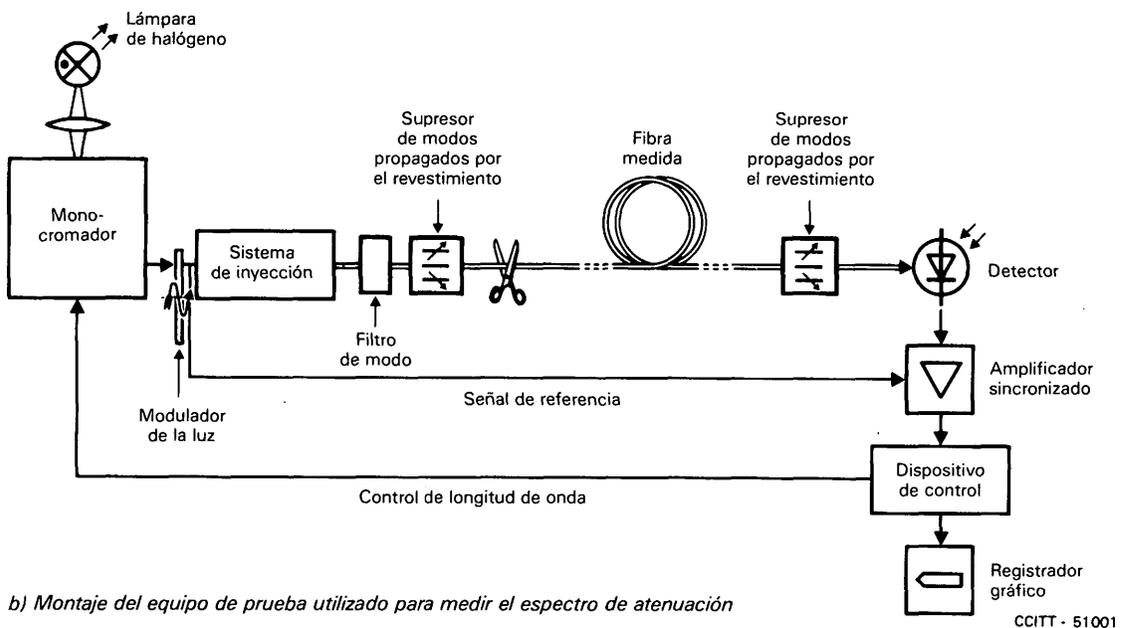
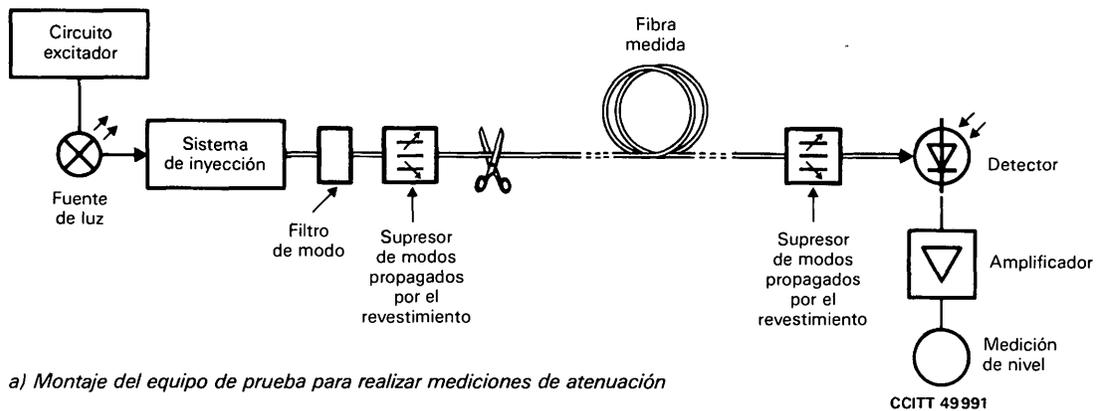


FIGURA B-9/G.652

Técnica de la fibra cortada

B.4.3.2.5 *Supresor de modos de revestimiento*

Véase el § B.2.1.5.

B.4.3.2.6 *Procedimiento*

- 1) La fibra a prueba se alinea con el dispositivo de acoplamiento.
- 2) Se analiza la potencia retroesparcida mediante un procesador de señales y se registra en una escala logarítmica. La figura B-10b/G.652 muestra una curva típica así.
- 3) La atenuación entre dos puntos A y B de la curva correspondiente a dos secciones transversales de la fibra es:

$$A(\lambda)_{A \rightarrow B} = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad (\text{dB})$$

donde V_A y V_B son los niveles de potencia correspondientes dados en escala logarítmica.

Nota – Debe prestarse atención a las condiciones de esparcimiento en los puntos A y B cuando se calcula la atenuación de esta manera.

- 4) Si así se requiere, pueden efectuarse mediciones bidireccionales, junto con el cálculo numérico, para mejorar la calidad del resultado y posiblemente poder separar la atenuación del factor de retroesparcimiento.

B.4.3.2.7 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) tipos y características de medición;
- b) técnicas de inyección;
- c) configuración de prueba;
- d) humedad relativa y temperatura de la muestra (cuando es necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) longitud de la muestra,
- g) tiempo de subida, anchura y frecuencia de repetición del impulso;
- h) clase de procesamiento de señales utilizado;
- i) la curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra y, en ciertas condiciones, el coeficiente de atenuación en dB/km.

Nota – El análisis completo de la curva registrada (figura B-10b/G.652) muestra que, aparte de la medición de atenuación, pueden supervisarse muchos fenómenos utilizando la técnica del retroesparcimiento:

- a) la reflexión originada por el dispositivo de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- b) zona de pendiente constante;
- c) discontinuidad debida a defecto local, empalme o acoplamiento;
- d) reflexión debida a defecto dieléctrico;
- e) reflexión en el extremo de la fibra.

B.4.4 *Segundo método de prueba alternativo: técnica de la pérdida de inserción*

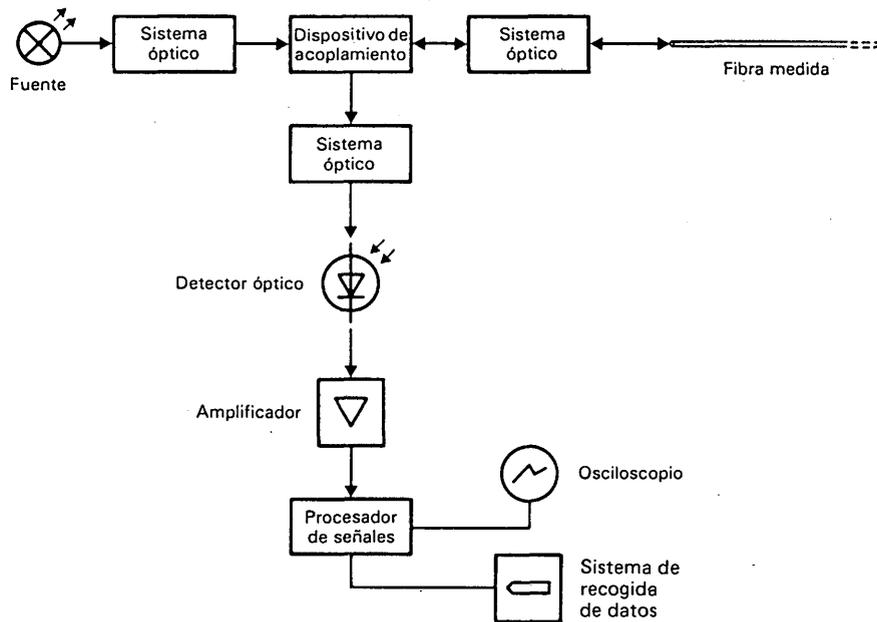
En estudio.

B.5 – Sección V – *Métodos de prueba para la medición del coeficiente de dispersión cromática*

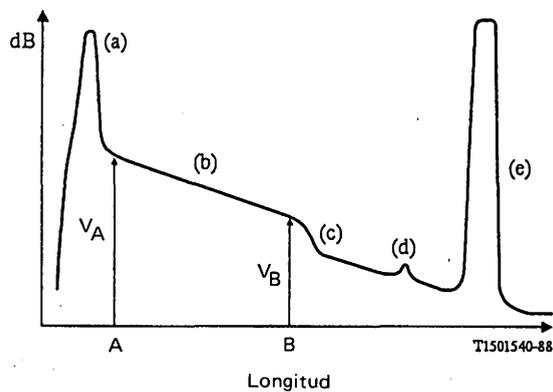
B.5.1 *Método de prueba de referencia para la medición de la dispersión cromática*

B.5.1.1 *Objetivo*

El coeficiente de dispersión cromática de la fibra se obtiene de la medición del retardo de grupo relativo experimentado por las diversas longitudes de onda durante la propagación a través de un largo de fibra conocido.



a) Esquema del aparato



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

FIGURA B-10/G.652

Técnica de retroesparcimiento

El retardo de grupo puede medirse en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, de acuerdo con el tipo de modulación de la fuente.

En el primer caso, se mide el retardo experimentado por los impulsos en diversas longitudes de onda; en el segundo caso, se registra y se procesa el desplazamiento de fase de una señal moduladora sinusoidal para obtener el retardo de tiempo.

La dispersión cromática puede medirse a una longitud de onda fija o en una gama de longitudes de onda.

B.5.1.2 Aparato de prueba

La figura B-11/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.5.1.2.1 *Fuente*

La fuente será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Pueden utilizarse diodos láser, diodos fotoemisores o fuentes de banda ancha (por ejemplo, un láser YAG al Nd con una fibra Raman, según la gama de longitudes de onda de la medición).

En todo caso, la señal moduladora deberá ser tal que garantice un tiempo de resolución suficiente en la medición del retardo de grupo.

B.5.1.2.2 *Selección de longitud de onda*

Se utiliza un selector de longitud de onda para seleccionar la longitud de onda a la cual ha de medirse el retardo de grupo. Puede utilizarse un conmutador óptico, monocromador, dispositivos dispersivos, filtros ópticos, acoplador acústico, conectores, etc., según el tipo de las fuentes de luz y el montaje de medición. La selección puede efectuarse conmutando señales eléctricas de excitación de las fuentes de luz para diferentes longitudes de onda. El selector de longitud de onda puede utilizarse en el extremo de entrada o en el extremo de salida de la fibra medida.

B.5.1.2.3 *Detector*

La luz que sale de la fibra medida, de la fibra de referencia, o del divisor óptico, u otro dispositivo equivalente, se acopla a un fotodetector cuya relación señal a ruido y resolución temporal son adecuadas para la medición. El detector va seguido de un amplificador de bajo ruido, si es necesario.

B.5.1.2.4 *Canal de referencia*

El canal de referencia puede consistir en una línea de señales eléctricas o en una línea de señales ópticas. En este canal puede insertarse un generador de retardo de tiempo. En ciertos casos puede utilizarse la propia fibra probada como línea del canal de referencia.

B.5.1.2.5 *Detector de retardo*

El detector de retardo medirá el retardo de tiempo o el desplazamiento de fase entre la señal de canal. En el caso de modulación sinusoidal, podrá utilizarse un voltímetro vectorial. En el caso de modulación por impulsos, podrá utilizarse un osciloscopio de alta velocidad o un osciloscopio de muestreo.

B.5.1.2.6 *Procesador de señales*

Puede añadirse un procesador de señales para reducir el ruido y/o la fluctuación de fase de la forma de onda medida. En caso necesario, puede utilizarse un computador digital para control del equipo, recogida de datos y evaluación numérica de éstos.

B.5.1.3 *Procedimiento*

La fibra a prueba se acopla adecuadamente a la fuente y al detector mediante un selector de longitud de onda, un divisor óptico, etc. Si es necesario, puede realizarse una calibración del retardo cromático de la fuente. Debe lograrse un compromiso adecuado entre la resolución de longitud de onda y el nivel de la señal. A menos que la fibra sometida a prueba sea utilizada también como línea del canal de referencia, la temperatura de la fibra debe ser suficientemente estable durante la medición.

El retardo de tiempo o el desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de trabajo deben medirse con el detector de retardo. Se utiliza un procesamiento de datos apropiado al tipo de modulación a fin de obtener el coeficiente de dispersión cromática en la longitud de onda de trabajo. En caso necesario, puede realizarse una exploración espectral del retardo de grupo en función de la longitud de onda; puede completarse una curva de ajuste a partir de los valores medidos.

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda deben ajustarse a la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

donde τ_0 es el retardo relativo mínimo a la longitud de onda de dispersión nula λ_0 . El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse diferenciando la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

donde S_0 es la pendiente de dispersión nula (uniforme), es decir, el valor de la pendiente de dispersión $S(\lambda) = dD/d\lambda$ a la longitud de onda λ_0 .

Nota 1 – Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No se ha previsto utilizarlas en la región de 1300 nm.

Nota 2 – Como otra posibilidad, el coeficiente de dispersión cromática puede medirse directamente, por ejemplo, por un método de desplazamiento de fase diferencial. En este caso, se ajustará directamente una línea recta al coeficiente de dispersión para determinar λ_0 y S_0 .

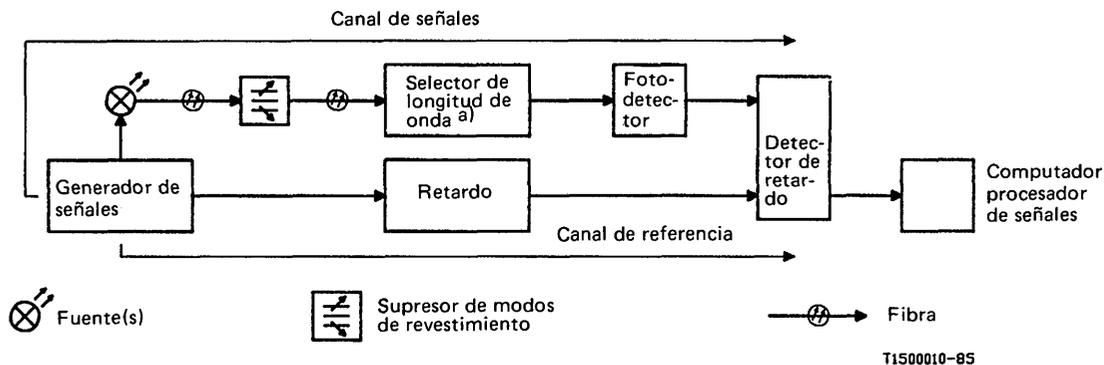
B.5.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- configuración de prueba;
- tipo de modulación utilizada;
- características de la fuente;
- identificación y longitud de la fibra;
- características del selector de longitud de onda (si existe);
- tipo de fotodetector;
- características del detector de retardo;
- valores de la longitud de onda de dispersión nula y la pendiente de dispersión nula.

Si se utiliza la técnica del dominio de la frecuencia, el retardo de grupo t se deducirá del desplazamiento de fase correspondiente mediante la relación $t = \phi/(2\pi f)$, siendo f la frecuencia de modulación;

- procedimientos de ajuste de los datos de retardo relativo con la gama de longitudes de onda utilizada;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).



a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-11/G.652

Montaje típico del aparato de prueba

B.5.2 *Método de prueba alternativo para la medición del coeficiente de dispersión cromática: método de la prueba interferométrica*

B.5.2.1 *Objetivo*

El método de la prueba interferométrica permite medir la dispersión cromática utilizando un tramo corto de fibra (de varios metros). Este método ofrece la posibilidad de medir la homogeneidad longitudinal de la dispersión cromática de las fibras ópticas. Permite además medir el efecto de influencias generales o locales, tales como los cambios de temperatura y las pérdidas por microflexión, sobre la dispersión cromática.

Según el principio de medición interferométrica, el retardo dependiente de la longitud de onda entre la muestra probada y el trayecto de referencia se mide con un interferómetro Mach-Zehnder. El trayecto de referencia puede hallarse en un trayecto aéreo o en una fibra monomodo con un retardo de grupo espectral conocido.

Debe señalarse que la extrapolación de los valores de dispersión cromática obtenidos mediante la prueba interferométrica con fibras de pocos metros de longitud, a largas secciones de fibras, presupone la homogeneidad longitudinal de la fibra. Esta hipótesis puede no ser aplicable en todos los casos.

B.5.2.2 *Aparato de prueba*

Las figuras B-12/G.652 y B-13/G.652 muestran diagramas esquemáticos del aparato de prueba en los cuales el trayecto de referencia está constituido por una fibra óptica y un trayecto aéreo, respectivamente.

B.5.2.2.1 *Fuente óptica*

La fuente será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. La fuente debe ser adecuada, por ejemplo, un láser YAG con fibra Raman o una lámpara y una fuente óptica de diodo fotoemisor, etc. Para la aplicación de técnicas de amplificación sincronizada, basta con una fuente luminosa para modulación a baja frecuencia (50 a 500 Hz).

B.5.2.2.2 *Selector de longitud de onda*

Se utiliza un selector de longitud de onda para seleccionar la longitud de onda a la cual se mide el retardo del grupo. Puede utilizarse un monocromador, un filtro de interferencia óptica u otro selector de longitud de onda, según el tipo de fuentes ópticas y los sistemas de medición. El selector de longitud de onda puede utilizarse en el extremo de entrada o en el de salida de la fibra probada.

La anchura espectral de las fuentes ópticas debe ser limitada por la exactitud de medición de la dispersión, y es de unos 2 a 10 nm.

B.5.2.2.3 *Detector óptico*

El detector óptico debe tener suficiente sensibilidad en la gama de longitudes de onda a la que debe determinarse la dispersión cromática. Si es necesario, podría mejorarse la señal recibida, por ejemplo con un circuito de transimpedancia.

B.5.2.2.4 *Equipo de prueba*

Para registrar los diagramas de interferencia puede utilizarse un amplificador sincronizado. Para equilibrar la longitud óptica de los dos trayectos del interferómetro se utiliza un dispositivo de posicionamiento lineal en el trayecto de referencia. En cuanto al posicionamiento del dispositivo, es importante asegurarse de su exactitud, uniformidad y estabilidad de movimiento lineal. La variación de la longitud debe hallarse en la gama de 20 a 100 mm, con una exactitud de unos 2 μm .

B.5.2.2.5 *Espécimen*

Como espécimen para la prueba pueden utilizarse fibras monomodo no cableadas y cableadas. La longitud del espécimen debe hallarse en la gama de 1 a 10 m, con una exactitud de ± 1 mm. La preparación de las caras extremas de las fibras debe realizarse con cierto cuidado.

B.5.2.2.6 *Procesamiento de los datos*

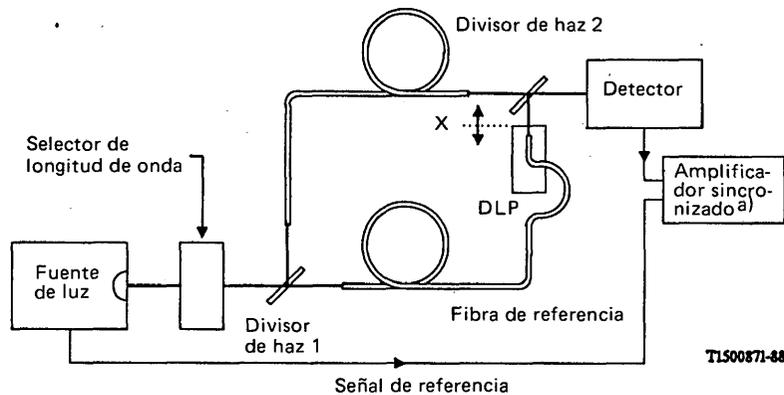
Para el análisis de los diagramas de interferencia debe utilizarse un computador con soporte lógico adecuado.

B.5.2.3 Procedimiento de prueba

- 1) La fibra probada se dispone en el montaje de medición (figuras B-12, B-13/G.652). El posicionamiento de las caras extremas de la fibra se efectúa con dispositivos de microposicionamiento tridimensional, optimizando la potencia óptica recibida por el detector. No son posibles errores debidos a modos de revestimiento.
- 2) La determinación del retardo de grupo se efectúa equilibrando las longitudes ópticas de los dos trayectos del interferómetro con un dispositivo de posicionamiento lineal en el trayecto de referencia, para diferentes longitudes de onda. La diferencia entre la posición x_i del máximo del diagrama de interferencia para la longitud de onda λ_i y la posición x_0 (figura B-14/G.652) determina la diferencia de retardo de grupo $\Delta t_g(\lambda_i)$ entre el trayecto de referencia y el trayecto de prueba, por la siguiente expresión:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{c_0}$$

donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío. El retardo de grupo de la muestra medida se calcula sumando el valor $\Delta t_g(\lambda_i)$ y el retardo de grupo espectral del trayecto de referencia. Dividiendo esta suma por el largo de fibra probado se obtiene el retardo de grupo por unidad de longitud $\tau(\lambda)$ de la fibra probada.

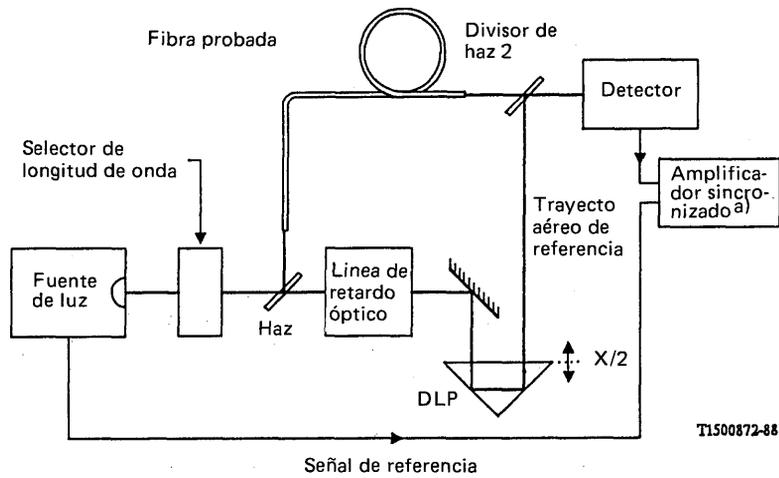


DLP Dispositivo de posicionamiento lineal
 X Distancia de posicionamiento

a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-12/G.652

Diagrama esquemático del montaje de medición con la fibra de referencia



DLP Dispositivo de posicionamiento lineal
 X Distancia de posicionamiento

a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-13/G.652

Diagrama esquemático del montaje de medición con la referencia de trayecto aéreo

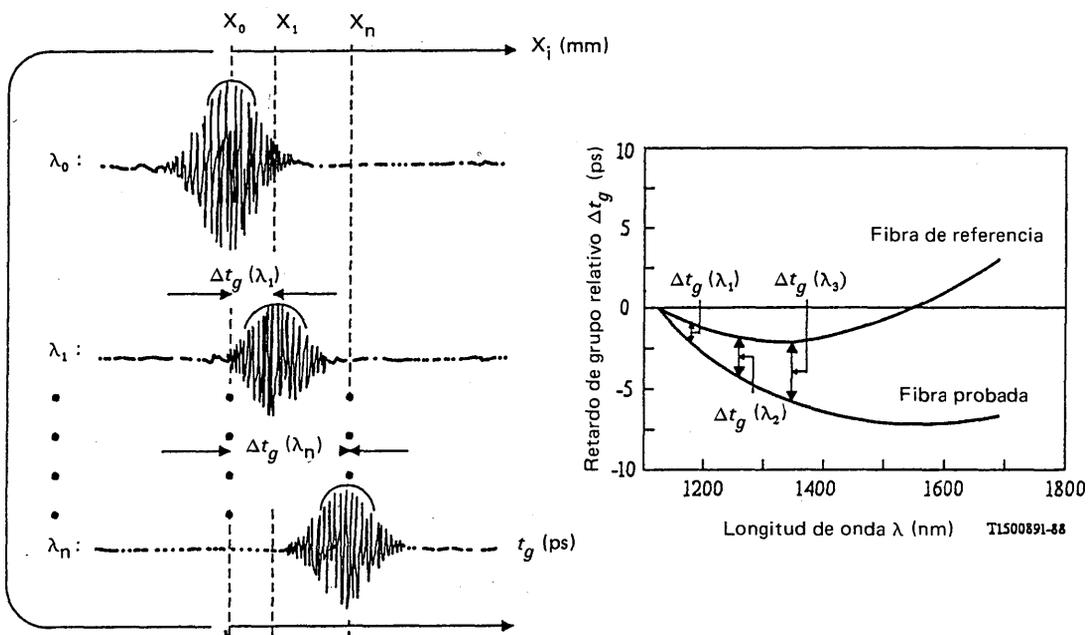


FIGURA B-14/G.652

Determinación del retardo de grupo espectral

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda deben ajustarse por la expresión cuadrática:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

donde τ_0 es el retardo relativo mínimo a la longitud de onda de dispersión nula λ_0 . El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse diferenciando la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

donde S_0 es la pendiente de dispersión nula (uniforme), es decir, el valor de la pendiente de dispersión $S(\lambda) = dD/d\lambda$ a la longitud de onda λ_0 .

Nota – Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No se ha previsto utilizarlas con valores en la región de 1300 nm.

B.5.2.4 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba;
- b) características de la fuente;
- c) identificación y longitud de la fibra;
- d) características del selector de longitud de onda (si existe);
- e) tipo del fotodetector;
- f) valores de la longitud de onda de dispersión nula y la pendiente de dispersión nula;
- g) procedimiento de ajuste para los datos del retardo relativo, con indicación de la gama de longitudes de onda utilizada;
- h) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

Recomendación G.653

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO CON DISPERSIÓN DESPLAZADA

(Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando

(a) que los cables de fibra óptica con dispersión desplazada serán utilizados en las redes de telecomunicaciones;

(b) que para las aplicaciones potenciales previstas podrán necesitarse varios tipos de fibras monomodo de características diferentes; estas diferencias pueden manifestarse en las longitudes de ondas de trabajo, las características geométricas y ópticas y las características de atenuación, dispersión y otras características de transmisión,

recomienda

una fibra monomodo con dispersión desplazada, con una longitud de onda de dispersión nula en la región de longitudes de onda de 1550 nm y que está optimizada para uso a longitudes de onda en torno a 1550 nm. Esta fibra puede utilizarse también a longitudes de onda en torno a 1300 nm, con las restricciones indicadas en esta Recomendación.

Sus parámetros geométricos, ópticos y de transmisión se describen a continuación.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación se explica en el anexo A, y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B. Las características de esta fibra y los valores pertinentes se precisarán a medida que se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

1 Características de la fibra

En este § 1 sólo se recomiendan aquellas características de la fibra, que proporcionan una estructura de diseño mínima esencial para los fabricantes de fibras. Entre estas características, la longitud de onda de corte de la fibra cableada puede verse afectada de manera apreciable en la fabricación o la instalación del cable. Por lo demás, las características recomendadas serán igualmente aplicables a las fibras individuales, a las fibras en cables arrollados en carretes, y a las fibras en cables instalados.

Esta Recomendación se aplica a las fibras que tienen un campo de modo nominalmente circular.

1.1 *Diámetro del campo de modo*

El valor nominal del diámetro del campo de modo a 1550 nm estará comprendido dentro de la gama 7,0 a 8,3 μm . La desviación del diámetro del campo de modo no deberá rebasar los límites de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

Nota 1 – La elección de un valor específico dentro de la gama indicada más arriba no está necesariamente asociada con un diseño de fibra específico.

Nota 2 – Debe señalarse que el comportamiento de la fibra en una determinada aplicación depende más de los parámetros esenciales de la propia fibra y del sistema, es decir, del diámetro del campo de modo, de la longitud de onda de corte, de la dispersión cromática, de la longitud de onda de trabajo del sistema y de la velocidad binaria/frecuencia de funcionamiento, que del diseño de la fibra.

Nota 3 – Todo lo que antecede requiere ulterior estudio.

1.2 *Diámetro del revestimiento*

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento con respecto a su valor nominal no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

Para determinadas técnicas de empalme y requisitos de la pérdida en los empalmes pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.3 *Error de concentricidad del campo de modo*

El error de concentricidad para el campo de modo a 1550 nm no debe ser superior a 1 μm .

Nota – Para determinadas técnicas de empalme y requisitos de la pérdida en los empalmes, pueden ser adecuadas tolerancias de hasta 3 μm .

1.4 *No circularidad*

1.4.1 *No circularidad del campo de modo*

En la práctica, la no circularidad del campo de modo de las fibras que tienen campos de modo nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y los empalmes no se vean afectados. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo de modo. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo de modo con fines de aceptación.

1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

La no circularidad del revestimiento debe ser inferior a 2%. Puede que otras tolerancias sean apropiadas para algunas técnicas de empalme particulares y requisitos de pérdida en los empalmes.

1.5 *Longitud de onda de corte*

En estudio.

1.6 *Pérdida por flexión a 1550 nm*

El incremento de la pérdida para 100 vueltas de fibra, holgadamente enrolladas con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 0,5 dB.

Nota 1 – Una prueba de calificación puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

Nota 2 – El valor indicado más arriba de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo típico de repetidor. El radio de 37,5 mm es equivalente al radio mínimo de flexión generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de los sistemas en la práctica, para evitar fallos debidos a la fatiga estática.

Nota 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la realización de esta prueba un número de vueltas menor que 100, nunca se empleen menos de 40 vueltas, y se utilice un incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

Nota 4 – Se sugiere que si se ha previsto utilizar radios de plexión menores de 37,5 mm (por ejemplo, $R = 30$ mm) en los casos de empalme, o en cualquier otro lugar del sistema, el mismo valor de pérdida de 0,5 dB se aplique a 100 vueltas de fibra montadas con este radio menor.

Nota 5 – La cláusula sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las instalaciones de los sistemas de fibras monomodo en la práctica. La influencia de los radios de flexión relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

Nota 6 – Cuando se requieran pruebas de rutina para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas se puede utilizar un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la pérdida máxima admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la cláusula sobre la pérdida de 0,5 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

1.7 *Propiedades materiales de la fibra*

1.7.1 *Materiales de la fibra*

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

Nota – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que se pueden obtener características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica adecuadas cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

1.7.2 *Materiales protectores*

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de quitarlo (de ser necesario). En el caso de una fibra envainada aislada, se facilitarán indicaciones similares.

1.8 *Perfil del índice de refracción*

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra; no obstante, si se desea medirlo, podrá utilizarse el método de prueba de referencia de la Recomendación G.651.

2 **Especificaciones aplicables a los largos de fabricación**

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en el § 1 son apenas afectadas por el proceso de cableado, este § 2 incluirá recomendaciones especialmente aplicables a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones de prueba y del ambiente son de gran importancia, y se describen en las directrices sobre métodos de prueba.

2.1 *Coefficiente de atenuación*

Los cables de fibra óptica especificados en esta Recomendación generalmente tienen coeficientes de atenuación en la región 1550 nm inferiores a 0,5 dB/km. Cuando se tiene el propósito de utilizar estos cables en la región de 1300 nm debe tenerse en cuenta que su coeficiente de atenuación en esta región es generalmente inferior a 1 dB/km.

Nota – Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, la composición y el diseño de las fibras, así como del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos en la gama 0,19-0,25 dB/km en la región de 1550 nm.

2.2 Coeficiente de dispersión cromática

En estudio.

Nota 1 – El coeficiente de dispersión cromática máximo de las fibras monomodo objeto de la presente Recomendación será el siguiente:

Longitud de onda (nm)	Máximo coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)]
1525-1575	3,5
Región de 1300 nm	En estudio

Nota 2 – El valor de 3,5 ps/(nm · km) tiene en cuenta largos de sección limitados por la atenuación a 560 Mbit/s, cuando se utilizan láseres de modo multilongitudinal adecuados y una codificación de línea apropiada.

Nota 3 – Para sistemas de mayor capacidad (superior a 560 Mbit/s) o de mayor longitud, se requiere la operación más cerca de la de la longitud de onda de dispersión nula (a menos que se utilicen diodos de láser de modo monolongitudinal). En tal caso habría que especificar otros parámetros para las fibras (tales como la longitud de onda de dispersión nula, la pendiente de dispersión, etc.). Es necesario realizar estudios ulteriores para determinar estos parámetros.

Nota 4 – No es necesario realizar mediciones de rutina del coeficiente de dispersión cromática.

3 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable consta normalmente de varios largos de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en el § 2 de esta Recomendación. Los parámetros de transmisión de las secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de cada largo de cable, sino también, entre otras cosas, factores tales como las pérdidas en los empalmes y en los conectores (en su caso).

3.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m a_n \cdot L_n + a_s \cdot X + a_c \cdot y$$

donde

- a_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra de la sección elemental de cable,
- L_n = longitud de la n -ésima fibra,
- m = número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable,
- a_s = pérdida media por empalme,
- X = número de empalmes de la sección elemental de cable,
- a_c = pérdida media por conector de línea,
- y = número de conectores de línea en una sección elemental de cable (en su caso).

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La ecuación indicada no comprende la pérdida de conectores de equipo.

Para la pérdida de los empalmes y conectores se utiliza la pérdida media. En el presupuesto de atenuaciones aplicado para el diseño de un sistema real han de tenerse en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

3.2 *Dispersión cromática*

Se puede obtener la dispersión cromática expresada en ps a partir de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal de la longitud y respetando los signos de los coeficientes y las características de la fuente del sistema (véase el § 2.2).

ANEXO A

(a la Recomendación G.653)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

La mayor parte de las definiciones que figuran en el anexo A a la Recomendación G.652 son también aplicables, en principio, a las fibras con dispersión desplazada. Debido a la limitada experiencia con este tipo de fibras, es necesario efectuar estudios ulteriores para determinar hasta qué punto algunas de las definiciones son adecuadas.

ANEXO B

(a la Recomendación G.653)

Métodos de prueba para las fibras monomodo con dispersión desplazada

La experiencia adquirida hasta el momento en materia de fibras monomodo con dispersión desplazada es más bien limitada; por lo tanto, es menester seguir estudiando métodos de prueba de referencia y alternativas para este tipo de fibra. Sin embargo, la mayoría de los métodos de prueba descritos en el anexo B a la Recomendación G.652 son en principio aplicables también a las fibras con dispersión desplazada. Por lo tanto, a los efectos de este anexo, se hace referencia a los métodos de prueba correspondientes que figuran en el anexo B a la Recomendación G.652; es necesario seguir estudiando los aspectos específicos de cada procedimiento de prueba. Debe señalarse que la longitud de onda de trabajo para las fibras de que trata la Recomendación G.653 se sitúa en la región de 1550 nm.

Recomendación G.654

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO CON PÉRDIDA MINIMIZADA A UNA LONGITUD DE ONDA DE 1550 nm

(Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando

(a) que se requieren cables con un nivel de pérdida sumamente bajo para algunas aplicaciones en las redes de telecomunicaciones;

(b) que las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieran en:

- las características geométricas;
- la longitud de onda de trabajo;
- las características de atenuación, dispersión y otras características de ópticas;

(c) que podrán elaborarse recomendaciones relativas a los distintos tipos de fibras monomodo cuando se hayan estudiado suficientemente las utilizaciones prácticas de las mismas.

recomienda

una fibra monomodo que tiene la longitud de onda de dispersión nula en la región de 1300 nm, que presenta una pérdida mínima a una longitud de onda en torno a 1550 nm, y que está diseñada para uso en esta región.

Las características geométricas, ópticas y de transmisión de esta fibra se describen a continuación.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación se explica en el anexo A y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B.

Nota – Las características de esta fibra y los valores pertinentes serán mejorados a medida que se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

1 Características de la fibra

1.1 *Diámetro del campo de modo*

El valor nominal del diámetro del campo de modo a 1550 nm será de xx μm . La desviación del diámetro del campo de modo no deberá rebasar los límites de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

Nota – Se especificará el valor de xx. Un posible valor de xx es 10,5.

1.2 *Diámetro del revestimiento*

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento con respecto a su valor nominal no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ¹⁾ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

1.3 *Error de concentricidad del campo de modo*

El error de concentricidad para el campo de modo a 1550 nm no debe ser superior a 1 μm ¹⁾.

1.4 *No circularidad*

1.4.1 *No circularidad del campo de modo*

En la práctica, la no circularidad del campo de modo de las fibras que tienen campos de modo nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y los empalmes no se vean afectados. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo de modo. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo de modo con fines de aceptación.

1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

La no circularidad del revestimiento debe ser inferior a 2%. Puede que otras tolerancias sean apropiadas para algunas técnicas de empalme particulares y requisitos de pérdida por empalme.

1.5 *Longitud de onda de corte*

Los valores de la onda de corte estarán comprendidos entre xxxx, e yyyy nm para λ_c , y serán inferiores a zzzz nm para λ_{cc} .

Nota – Se especificarán los valores para xxxx, yyyy y zzzz; son posibles valores 1350 para xxxx, 1600 para yyyy y 1500 para zzzz.

1.6 *Características de pérdida por flexión a 1550 nm*

En estudio.

Nota – El comportamiento de esta fibra no será inferior al de una fibra conforme a la Recomendación G.653.

1.7 *Propiedades materiales de la fibra*

Son similares a las indicadas en el § 1.7 de la Recomendación G.652.

1.8 *Ejemplo de directrices para el diseño de fibras*

En el suplemento N.º 33 se presenta un ejemplo de directrices para el diseño de fibras con revestimiento adaptado, utilizadas por una organización.

¹⁾ En estudio.

2 Especificaciones aplicables a los largos de fabricación

2.1 *Coefficiente de atenuación*

Los cables de fibra óptica especificados en esta Recomendación tendrán coeficientes de atenuación en la región de 1550 nm inferiores a 0,25 dB/km²⁾.

Nota — Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, la composición y el diseño de las fibras, así como del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos en la gama de 0,15 a 0,20 dB/km en la región de 1550 nm.

2.2 *Coefficientes de dispersión cromática*

El máximo coeficiente de dispersión cromática en la región de longitudes de onda de 1550 nm de las fibras monomodo de que trata la presente Recomendación será de 20 ps/(nm · km).

3 Secciones elementales de cable

Son las indicadas en el § 3 de la Recomendación G.652.

ANEXO A

(a la Recomendación G.654)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

La mayor parte de las definiciones que figuran en el anexo A a la Recomendación G.652 se aplican también, en principio, a las fibras con pérdida minimizada. Debido a la limitada experiencia con este tipo de fibras, es necesario efectuar estudios ulteriores para determinar hasta qué punto algunas de las definiciones son adecuadas.

ANEXO B

(a la Recomendación G.654)

Métodos de prueba para las fibras monomodo con pérdida minimizada

La experiencia adquirida hasta el momento con las fibras monomodo con pérdida minimizada es más bien limitada; por lo tanto, es menester seguir estudiando métodos de prueba de referencia y alternativos para este tipo de fibra. Sin embargo, la mayoría de los métodos de prueba descritos en el anexo B a la Recomendación G.652 son en principio aplicables también a las fibras con pérdida minimizada. Por lo tanto, a los efectos de este anexo, se hace referencia a los métodos de prueba correspondientes que figuran en el anexo B a la Recomendación G.652; es necesario seguir estudiando los aspectos específicos de cada procedimiento de prueba. Debe señalarse que la longitud de onda de trabajo para las fibras de que trata la Recomendación G.654 se sitúa en la región de 1550 nm.

²⁾ En estudio.

PARTE II

**SUPLEMENTOS A LAS RECOMENDACIONES
DE LA SECCIÓN 6 DE LAS
RECOMENDACIONES DE LA SERIE G**

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

INFORMACIÓN SOBRE LOS BARCOS Y EQUIPOS SUBMERGIBLES DE DIVERSOS PAÍSES

(Mar del Plata, 1968, modificado en Ginebra, 1972, 1976, 1980, 1984 y 1988; citado en la subsección 6.3 de las Recomendaciones de la serie G)

Sección 1 – BARCOS CABLEROS

Nombre del barco	Año de construcción	Desplazamiento (toneladas)	Longitud total (m)	Calado (m)	Velocidad normal (nudos)	Radio de acción (autonomía) (millas marinas)	Número de tanques	Capacidad de carga			Equipo			Profundidad máxima de trabajo (m)	Posibilidades
								Cable		Repetidores	Tambor anterior (diámetro) [m]	Polea de rodamiento			
								Volumen (m³)	Peso (toneladas)			Proa (diámetro) (m)	Popa (diámetro) (m)		
<i>John Cabot</i>	1985	6400	95	7	13/16	6500	3	CANADÁ 614 800		24	1 x 3,0 (30 t) + motor lineal (18 pares de volantes)	3,0	–	Todas	Barco de reparaciones. Capacidad de excavación de zanjas.
<i>Peter Faber</i>	1982	Abierto 750 Cerrado 1830	78,4	Abierto 3,8 Cerrado 5,0	14,0	7000	1 cala para cables	310 230	600 400	Aprox. 10	3,0	3,0	–	4000	Reforzado para trabajar en mares helados. En el puente de popa: un pórtico en forma de A con báscula hidráulica. Carga máxima: 35 toneladas. Un torno hidráulico para remolque y uso general. Dos tornos hidráulicos de ataje con tambores dobles.

Sección 1 - BARCOS CABLEROS (cont.)

Nombre del barco	Año de construcción	Desplazamiento (toneladas)	Longitud total (m)	Calado (m)	Velocidad normal (nudos)	Radio de acción (autonomía) (millas marinas)	Número de tanques	Capacidad de carga			Equipo			Profundidad máxima de trabajo (m)	Posibilidades
								Cable		Repetidores	Tambor anterior (diámetro) (m)	Polea de rodamiento			
								Volumen (m ³)	Peso (toneladas)			Proa (diámetro) (m)	Popa (diámetro) (m)		
<i>Vercors</i>	1974	10 670	133	7,3	16,5	13 000	3	FRANCIA 2535 6000*		140	2 × 3,0 (30t)	3,0	4,0 + motor lineal (18 pares de rolantes)	Todas	Tendido y reparación de todo tipo de cables telefónicos coaxial o de fibras ópticas o de energía. Capacidad: 3500 km de cable de fibra óptica de fondo, 1300 millas marinas en cable de una pulgada o 650 millas marinas en cable de 1,5 pulgadas o 500 millas marinas en cable de 1,7 pulgadas. * En el caso de cable de energía el peso es diferente (5900 t).
<i>Léon Thévenin</i>	1983	6200	107	6,25	15,0	10 000	2	1060	1000	30	2 × 3,4 (40t)	3,0	4,0 + motor lineal (8 pares de rolantes)	Todas	Barco de reparación, cables coaxiales y cables de fibras ópticas armados.
<i>Raymond Croze</i>	1983	6200	107	6,25	15,0	10 000	2	1400	1300	70	2 × 3,4 (40t)	3,0	4,0 + motor lineal (8 pares de rolantes)	Todas	Barcos de reparación y tendido - aproximadamente la mitad de la capacidad en volumen de almacenamiento del <i>Vercors</i> . <i>Nota - Léon Thévenin y Raymond Croze son barcos idénticos, salvo en la disposición de las cubas de cables.</i>

Sección 1 – BARCOS CABLEROS (cont.)

Nombre del barco	Año de construcción	Desplazamiento (toneladas)	Longitud total (m)	Calado (m)	Velocidad normal (nudos)	Radio de acción (autonomía) (millas marinas)	Número de calas	Capacidad de carga			Equipo			Profundidad máxima de trabajo (m)	Posibilidades
								Cable		Repetidores	Tambor anterior (diámetro) (m)	Polea de rodamiento			
								Volumen (m³)	Peso (toneladas)			Proa (diámetro) (m)	Popa (diámetro) (m)		
ITALIA															
<i>Barcos pertenecientes a Pirelli/Euroshipping</i>															
<i>Arabella</i>	1975	2620	76,66	5,18	11	2000	2	1100	2000	—	—	—	3	Todas	Tendido/reparación
<i>G. Verne</i>	1983	13 000	127,5	5,37	10	5000	3	5000	12 000	—	—	—	6	Todas	Solamente de popa
JAPÓN															
<i>1. Barco perteneciente KDD</i>															
<i>KDD Maru</i>	1967	6026	113,83	6,3	16	7000	3	1012	2700	70	3,6	3,0	(Cinta sin fin) 4,0	Todas	Puede tender y reparar todo tipo de cables telefónicos.
<i>2. Barcos pertenecientes a NTT</i>															
<i>NTT Tsugaru Maru</i>	1969	1961	84,6	4,60	13,5	4000	1	320	650	50	3,3	2,5	1,8	5000	Tendido y reparación de todo tipo de cables telefónicos.
<i>NTT Kuroshio Maru</i>	1974	3345	119,3	5,60	16,5	6883	3	887	1200	95	3,8	3,0	2,0	Todas	Tendido mediante motor lineal. Tendido y reparación de todo tipo de cables telefónicos.
<i>NTT Setouchi Maru</i>	1979	819	64,8	3,50	12,0	3690	2	139	250	20	2,5	—	1,5	5000	Tendido y reparación de todo tipo de cables telefónicos.
<i>NTT Koyo Maru</i>	1983	1295	74,0	43,50	13,5	4500	2	169	250	20	3,0	2,5	2,0	Todas	Tendido mediante motor lineal. Tendido y reparación de todo tipo de cables telefónicos (especialmente cables ópticos).

Sección 1 - BARCOS CABLEROS (cont.)

Nombre del barco	Año de construcción	Desplazamiento (toneladas)	Longitud total (m)	Calado (m)	Velocidad normal (nudos)	Radio de acción (autonomía) (millas marinas)	Número de calas	Capacidad de carga			Equipo			Profundidad máxima de trabajo (m)	Posibilidades
								Cable		Repetidores	Tambor anterior (diámetro) (m)	Polea de rodamiento			
								Volumen (m³)	Peso (toneladas)			Proa (diámetro) (m)	Popa (diámetro) (m)		
REINO UNIDO															
<i>1. Barcos pertenecientes a British Telecom (Marine) Limited</i>															
<i>Alert</i>	1961	9477	130	7,1	14	10 000	3	1509	3100	48	2,98	2,98	2,98	Todas	Tendido mediante motor lineal y enterramiento en el fondo marino con arado. Tendido y reparación de todo tipo de cables coaxiales y de fibra óptica.
<i>Monarch</i>	1975	4639	97	5,5	14	7000	4	417	850	12	3,00	3,00	Ninguna	Todas	Tiende/repára cables armados, coaxiales y de fibras ópticas. Repara cables ligeros coaxiales y de fibra óptica. Desenterramiento/reenterramiento mediante inyectores sumergibles.
<i>Iris</i>	1976	4639	97	5,5	14	7000	4	417	850	12	3,00	3,00	Ninguna	Todas	Reparación y tendido de cables armados coaxiales y de fibra óptica. Reparación de cables ligeros coaxiales y de fibras ópticas.
<i>2. Barcos pertenecientes a Cable & Wireless (Marine) Limited</i>															
<i>Retriever</i>	1961	5650	112	5,82	13	8000	3	629	1568	11	3,0	3,0	Cinta sin fin 3,05	Todas	Tendido y reparación de cables armados. Reparación de cables ligeros. (Véase la nota).
<i>Northern</i>	1962	3363	83,5	5,3	10	7200	3	480	1000	3	3,0	3,0	Ninguna	3500	Sólo por la proa. Barco para reparaciones.

Nota - Sólo se tienden cables relativamente pequeños y cerca de los puntos de amarre.

Sección 1 – BARCOS CABLEROS (fin)

Nombre del barco	Año de construcción	Desplazamiento (toneladas)	Longitud total (m)	Calado (m)	Velocidad normal (nudos)	Radio de acción (autonomía) (millas marinas)	Número de calas	Capacidad de carga			Equipo			Profundidad máxima de trabajo (m)	Posibilidades
								Cable		Repetidores	Tambor anterior (diámetro) (m)	Polea de rodamiento			
								Volumen (m³)	Peso (toneladas)			Proa (diámetro) (m)	Popa (diámetro) (m)		
<i>2. Barcos pertenecientes a Cable & Wireless (Marine) Limited (cont.)</i>															
<i>Cable Venture</i>	1962	16 983	153	8,97	12,5	10 000	4 + 1 (reserva)	5086	9000	400	2,80	3,00	3,39	Todas	Tendido por motor lineal. Tendido y reparación de cables coaxiales ligeros y armados.
<i>Mercury</i>	1962	11 683	144	7,5	14,5	8000	3	2970	3500	144	3,05	3,50	Cinta sin fin 3,05	Todas	Ídem.
<i>Cable Enterprise</i>	1964	5759	113	5,84	13	8000	3	887	2150	30	2,8	3,00	Cinta sin fin 3,05	Todas	Tendido y reparación de cables armados. Reparación de cables ligeros. (Véase la nota).
<i>Cable Protector</i>	1976	4608	86	4,7	10,0	7200	2	1272	1060	No	No	No	3,00	1000	Tambor de cable en popa de 2,6 m y equipado con un pequeño rompehielos.
<i>Pacific Guardian</i>	1984	7526	116	6,32	14,0	8000	3	1416	3470	96	3,5	3,00	3,00	Todas	Tendido mediante motor lineal. Tiende y repara cables coaxiales armados y ligeros.
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA															
<i>Barcos pertenecientes a AT&T</i>															
<i>Charlie Brown</i>	1952	2881	99,9	5,8	15	7000	3	660	2122	—	3,66	3,66	ND	Todas	Repara todo tipo de cables telefónicos. Tendido de sistemas cortos y costeros.
<i>Long Lines</i>	1963	11 326	156	7,9	15	10 000	3	4420	7000	125	3,66	3,05	3,66	Todas	Tendido y reparación de todo tipo de cables telefónicos.

Nota – Sólo se tienden cables relativamente pequeños y cerca de los puntos de amarre.

Sección 2 – EQUIPOS SUMERGIBLES

Tipo de sumergible	Desplazamiento (toneladas)	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura	Sistema de excavación de zanja	Excavación de zanja	Propulsión	Máxima profundidad operacional (m)	Capacidad
					FRANCIA				
<i>Sistema de arado sumergible</i>	23	9,06	3	2,90	Arado	Enterramiento inmediato del cable durante el arado (hasta 0,7 m)	Remolcado por el barco nodriza	950	Tendido y enterramiento de cables y de conductos pequeños.
<i>Sistema de enterramiento autónomo avanzado</i>	11,3	5,50	2,45	3,50	Cadena o rueda de excavación de zanja	Enterramiento de cables existentes hasta 2 m	Vehículo de tracción	150	Enterramiento de cables y conductos.
					JAPÓN				
					<i>1. Sumergibles pertenecientes a KDD</i>				
<i>Arado de cable KS-2</i>	9,3	11,2	2,56	2,0	—	Enterramiento inmediato del cable durante el arado	Remolcado por el barco nodriza	200	Tendido y enterramiento del cable en una sola acción.
<i>Tractor oruga MARCAS</i>	4,7	4,0	3,0	2,15	Inyectores de fluidificación	Inyectores de fluidificación	Tractor	200	Arado de cable existente.
<i>MARCAS-2500</i>	3,6	2,65	1,8	1,9	Inyectores de fluidificación	Inyectores de fluidificación	2 impulsores verticales y 4 horizontales	2500	Enterramiento de cables posterior al tendido, mantenimiento de cables y sondeo del fondo marino.
					<i>2. Sumergibles pertenecientes a NTT</i>				
<i>Sistema de enterramiento de cables submarinos de tipo arado Mark IV</i>	16,8	8,4	4,0	4,0	—	Enterramiento inmediato del cable hasta 1,5 de profundidad durante el arado	Remolcado por el barco nodriza	500	Enterramiento de cable simultáneo o posterior al tendido.
<i>Sistema de enterramiento autónomo avanzado</i>	3,5	3,4	2,3	1,8	Inyectores de fluidificación y de corte y bomba de drenado	Hasta 1,5 m de profundidad con inyectores de fluidificación y de corte	Autoavance mediante inyectores de agua	40	Excavación de zanja de cables existentes.

Sección 2 – EQUIPOS SUMERGIBLES (cont.)

Tipo de sumergible	Desplazamiento (toneladas)	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura	Sistema de excavación de zanja	Excavación de zanja	Propulsión	Máxima profundidad operacional (m)	Capacidad
REINO UNIDO									
<i>1. Sumergibles que pertenecen a British Telecom (Marine) Ltd.</i>									
<i>Arado sumergible</i>	17,0	6,6	4	3,4	Inyectores de fluidificación y de corte y bomba de drenado	Hasta 1 m de profundidad con inyectores de fluidificación y de corte	Tres impulsores verticales y cuatro horizontales, tractor con dirección diferencial	274	Excavación de zanja de cables y conductos existentes.
<i>Sistema de arado sumergible</i>	9,75	6,1	2,6	2,6	Arado precedido de disco	Enterramiento del cable simultáneo al arado	Remolcado por el barco nodriza	900	Tendido y enterramiento del cable, del cable de servicio y del conducto en una sola acción con una protección total del cable.
<i>Sistema de arado modular</i>	40	14	6	4,5	Arado precedido de disco	Enterramiento del cable simultáneo al arado	Remolcado por el barco nodriza	350	Enterramiento simultáneo o posterior en el cable y del cable de servicio, enterramiento posterior del conducto.
<i>2. Sumergibles que pertenecen a Cables & Wireless (Marine) Ltd.</i>									
<i>Sumergible de control remoto, Cirrus</i>	3,2	3,5	2,1	2,3	Inyectores de agua	Capacidad de excavación de zanja de 0,3 m	Impulsores (7)	1000	Inspección visual de la ubicación de cable/inspección/desenterramiento. Manipulación en general.
<i>Arado de fondo marino CWM</i>	12,0	7,2	4,0	2,5	Pala passiva	Capacidad de excavación de zanja de 0,9 m	Remolcado	1000	Direccionable. Capacidad de relleno de zanjas. Enterramiento parcial de repetidores.

Sección 2 - EQUIPOS SUMERGIBLES (fin)

Tipo de sumergible	Desplazamiento (toneladas)	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura	Sistema de excavación de zanja	Excavación de zanja	Propulsión	Máxima profundidad operacional (m)	Capacidad
				ESTADOS UNIDOS DE AMERICA					
<i>Arado marino IV A</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	Excavación de zanja mediante arado de 16 pulgadas de ancho y un máximo de 24 pulgadas de profundidad.
<i>Arado marino V</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	Igual que <i>Arado marino IV A</i> .
<i>Scarab I/II</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	Con varios propietarios y utilizado para mantenimiento.

Suplemento N.º 14

MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA DE RETORNO POR IRREGULARIDADES

(citado en la Recomendación G.623; el texto de este suplemento figura en la página 669 del fascículo III.3 del Libro Naranja, Ginebra, 1977)

Suplemento N.º 18

INFORMACIÓN SOBRE CABLES SUBMARINOS UTILIZADOS EN AGUAS PROFUNDAS

(citado en la sección 6.3; el texto de este suplemento figura en la página 313 del fascículo III.2 de Libro Rojo, Ginebra, 1985)

Suplemento N.º 19

**MEDICIÓN DE LA DIAFONÍA EN RÉGIMEN DIGITAL
(MÉTODO UTILIZADO POR LAS ADMINISTRACIONES DE FRANCIA, PAÍSES BAJOS Y ESPAÑA)**

(citado en la Recomendación G.612; el texto de este suplemento figura en la página 326 del fascículo III.2 de Libro Rojo, Ginebra, 1985)

Suplemento N.º 33

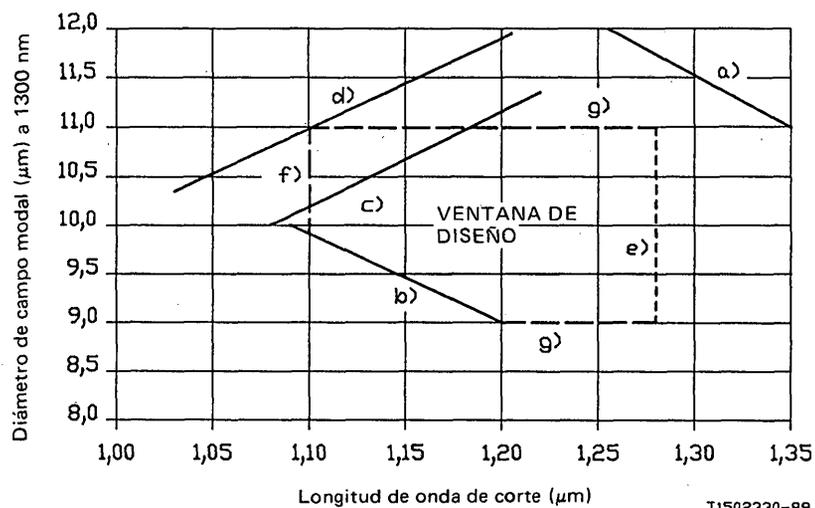
EJEMPLOS DE DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE FIBRAS ÓPTICAS

*(Diagramas utilizados en Japón y en el Reino Unido)
(citado en las Recomendaciones G.652 y G.654)*

Los dos diagramas siguientes proporcionan una visión general de las características de dos tipos particulares de fibras ópticas. El objetivo de los mismos es proporcionar una directriz a los potenciales usuarios de fibras ópticas para cuando tengan que preparar especificaciones de las mismas.

La figura 1, que se utiliza en Japón y en el Reino Unido, facilita relaciones que se han determinado de manera empírica entre el diámetro de campo modal y la longitud de onda de corte, como variables independientes, con pérdidas por curvatura a 1550 nm y coeficientes de dispersión a 1285 nm y 1330 nm para fibra monomodo de revestimiento adaptado y que cumplen la Recomendación G.652. Se describen dos tipos de comportamientos de las pérdidas por curvatura a 1550 nm, la prueba de la Recomendación G.652 (madril de 37,5 mm de radio/100 vueltas, pérdida máxima de 1,0 dB) y la prueba habitualmente especificada en el Reino Unido (mandril de 30 mm de radio/10 vueltas, pérdida máxima de 0,2 dB).

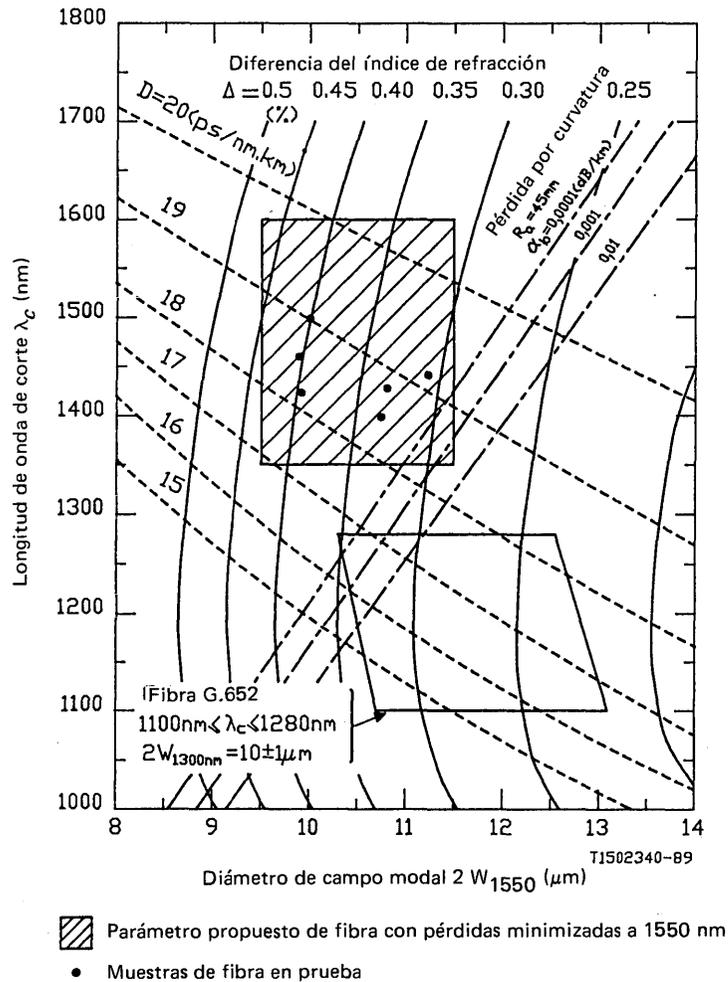
La figura 2, que es utilizada por KDD, Japón, proporciona relaciones entre el diámetro de campo modal y la longitud de onda de corte, con pérdidas por curvatura teóricas a 1550 nm y diversos coeficientes de dispersión cromática. Esta información se refiere a fibras monomodo de revestimiento adaptado que cumplen la Recomendación G.654.



- a) Coeficiente de dispersión $+3,5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ a 1330 nm.
- b) Coeficiente de dispersión $-3,5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ a 1285 nm.
- c) Pérdida por curvatura de 0,2 dB a 1550 nm sobre un mandril de 30 nm de radio/10 vueltas.
- d) Pérdida por curvatura de 1,2 dB a 1550 nm sobre un mandril de 30,7 nm de radio/100 vueltas.
- e) Límite superior para la longitud de onda de corte λ_c (1280 nm).
- f) Límite inferior para la longitud de onda de corte λ_c (1100 nm).
- g) Límite de Recomendación G.652 para el diámetro de campo modal ($10 \pm 1 \mu\text{m}$).

FIGURA 1

Diretrizes de diseño para fibras monomodo y con revestimiento adaptado
(Rec. G.652)



Curvas de isopérdidas por curvatura α_b , dispersión D e índice de refracción Δ , a una longitud de onda de 1550 nm, como parámetros del diámetro de campo modal $2 W$ y de la longitud de onda de corte λ_c .

Nota — El diámetro de campo modal a 1300 nm ($2 W_{1300 \text{ nm}} = 10 \pm 1 \mu\text{m}$) corresponde aproximadamente a un diámetro de campo modal $2 W_{1550 \text{ nm}}$ a 1550 nm comprendido entre 10,5 μm y 13 μm , tal como se muestra en la figura 2.

FIGURA 2

Directrices de diseño para fibras monomodo con pérdidas mínimas a 1550 nm
 (Rec. G.654)

ISBN 92-61-03333-4