

Reemplazada por una versión más reciente



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

L.12

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

(07/92)

**CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN
Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS
ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR**

EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA

Recomendación L.12

Reemplazada por una versión más reciente



Ginebra, 1992

Reemplazada por una versión más reciente

PREFACIO

El CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Plenaria del CCITT, que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiarse y aprueba las Recomendaciones preparadas por sus Comisiones de Estudio. La aprobación de Recomendaciones por los miembros del CCITT entre las Asambleas Plenarias de éste es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 2 del CCITT (Melbourne, 1988).

La Recomendación L.12 ha sido preparada por la Comisión de Estudio VI y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 2 el 31 de julio de 1992.

NOTA DEL CCITT

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

© UIT 1992

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

Reemplazada por una versión más reciente

Recomendación L.12

EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA^{1), 2)}

Introducción

Los cables de fibra óptica ya son de uso común en las telecomunicaciones interurbanas, submarinas y de conexión, y su uso está extendiéndose en la actualidad a las secciones de la red de abonados y de interiores de edificios. Se hallan instalados en todos los entornos: aéreo, canalizaciones, galerías de cables, enterrados directamente y en los locales de los usuarios. Así pues, los cables de fibra óptica están expuestos a los mismos riesgos que los cables de cobre. Un elemento importante de todo sistema de cables de fibra óptica instalado es el empalme de las fibras, que puede ejercer una gran influencia en la calidad de la transmisión y en los gastos de mantenimiento. La pérdida de un empalme puede llegar a ser igual a la pérdida de inserción introducida por una fibra de 500 a 1000 metros de longitud.

En la presente Recomendación, se tratan las características mecánicas, ambientales y ópticas de los empalmes de fibras ópticas, y se aconsejan métodos de prueba apropiados. En el Manual del CCITT «Construcción, instalación, empalme y protección de cables de fibra óptica» figura más información al respecto.

1 Alcance

La presente Recomendación:

- se refiere al empalme de cables de fibra óptica utilizados para redes de telecomunicaciones en canalizaciones, en galerías, enterradas y en instalaciones aéreas y subacuáticas¹⁾;
- trata de los factores de pérdida de los empalmes de fibras ópticas en las fibras multimodo de índice gradual y en las fibras monomodo;
- trata de las características ópticas y físicas de los empalmes de fibras ópticas;
- reconoce que existen dos tipos básicos de empalme de fibras ópticas, el empalme por fusión y el empalme mecánico, con numerosas variantes de diseño;
- asesora sobre los métodos de prueba apropiados para los empalmes de fibras ópticas.

2 Características de los empalmes de fibras ópticas

2.1 Características de la pérdida óptica

2.1.1 Generalidades

Las pérdidas de empalme pueden dividirse en dos categorías fundamentales: extrínsecas e intrínsecas a las fibras, para las fibras multimodo de índice gradual y monomodo. Las pérdidas extrínsecas guardan relación con las técnicas utilizadas para empalmar las fibras y son producidas por parámetros tales como el desplazamiento transversal de los núcleos de las fibras, la separación de los extremos, la desviación axial y la calidad de los extremos de la fibra. Las pérdidas intrínsecas guardan relación con las propiedades de las fibras y son producidas por desadaptaciones en los diámetros del núcleo y del revestimiento de la fibra, la circularidad y la concentricidad de los diámetros de campo modal, diferencias en las longitudes de onda de corte de las fibras monomodo y diferencias en la apertura numérica (NA, *numerical aperture*) de las fibras multimodo.

¹⁾ La presente Recomendación no trata los empalmes de fibras ópticas en cables submarinos.

²⁾ En la versión inglesa de la presente Recomendación se utiliza el término «fibre joint» con el mismo significado que el término «fibre splice» publicado en la documentación de la CEI.

Reemplazada por una versión más reciente

2.1.2 Fibras multimodo

Factores de pérdida extrínseca: los empalmes de fibras multimodo son más sensibles a los pequeños desplazamientos transversales y al ángulo formado por los ejes que a la separación de los extremos. Por ejemplo, un desplazamiento de 0,14 veces el radio del núcleo o una desviación de 1° producirán una pérdida de unos 0,25 dB, mientras que una separación de los extremos de 1 vez el radio del núcleo sólo causa una pérdida de unos 0,14 dB.

Factores de pérdida intrínseca: los empalmes de fibras multimodo de índice gradual son más sensibles a las desadaptaciones en el radio del núcleo y en la NA y menos sensibles a las desadaptaciones de los parámetros del perfil y de la circularidad y concentricidad del núcleo.

2.1.3 Fibras monomodo

En las fibras monomodo, el diámetro del campo modal es el diámetro de la luz radiada y equivale al diámetro del núcleo de las fibras de índice gradual (véase una definición más exacta en la Recomendación G.652). Los empalmes de fibras monomodo son aún más sensibles en una escala absoluta que los empalmes de fibras multimodo al diámetro del campo modal. Ello se debe a las dimensiones mucho menores de dicho diámetro. Por ejemplo, un desplazamiento transversal de 1,2 µm producirá una pérdida de empalme de unos 0,3 dB para fibras que cumplan la Recomendación G.652 con un diámetro del campo modal de 8 a 10 µm. Como causas del desplazamiento transversal en las fibras monomodo pueden citarse las diferencias en los diámetros de las fibras y las excentricidades del núcleo. La sensibilidad angular de las fibras monomodo es aproximadamente igual a la de las fibras multimodo para ángulos pequeños. La pérdida de empalme de las fibras monomodo es menos sensible a pequeñas desadaptaciones ($\leq 10\%$) en el diámetro del campo modal.

2.2 Características físicas de los empalmes de fibras ópticas

2.2.1 Métodos

Existen dos métodos básicos para efectuar un empalme de fibras ópticas:

- 1) *Empalme por fusión* – Empalme de fibras prealineadas mediante un proceso de fusión. La máquina de empalme por fusión puede controlar la alineación del núcleo o la alineación del revestimiento. La alineación del núcleo produce la menor pérdida de empalme en el caso de las fibras monomodo. Se utiliza un refuerzo mecánico para fortalecer el empalme por fusión y proporcionar protección ambiental al vidrio sin recubrimiento.
- 2) *Empalme mecánico* – Es el empalme de las fibras en el que la alineación está determinada por los componentes del dispositivo de empalme y mantenida mecánicamente o mediante adhesivos. La inyección (local o en el extremo distante) y la detección de la luz pueden utilizarse para colocar los componentes del dispositivo de empalme a fin de conseguir la mínima pérdida de empalme.

Los dos métodos básicos tienen numerosas variantes de diseño, características y propiedades. La elección del método y de las características de diseño depende del compromiso entre las características y propiedades que desee obtenerse en la instalación final. Deben considerarse los siguientes tres grupos de propiedades y características:

- 1) características de diseño, que comprenden:
 - a) empalme individual o múltiple,
 - b) integridad del empalme,
 - c) valores de pérdida de empalme y de pérdida de retorno,
 - d) densidad de empaquetado,
 - e) complejidad de los métodos,
 - f) universalidad de la instalación,
 - g) herramientas de instalación;
- 2) propiedades de la instalación, que comprenden:
 - a) estabilidad de la pérdida de empalme y de la pérdida de retorno,
 - b) robustez mecánica,
 - c) estabilidad ambiental;

Reemplazada por una versión más reciente

- 3) factores económicos, que comprenden:
 - a) herramientas y coste de las mismas,
 - b) gastos en mano de obra de instalación,
 - c) coste de los materiales para el empalme,
 - d) formación inicial y periódica requerida.

3 Empalmes por fusión

3.1 Procedimiento

Para efectuar empalmes fiables de fibras multimodo y monomodo sobre el terreno se utilizan soldadores con fusión por arco eléctrico. Este método se emplea para realizar empalmes monofibra o de multifibra.

Durante el ciclo de fusión, deben limpiarse los extremos de las fibras con una descarga del arco eléctrico y después unirlos y fundirlos. Es necesario empujar una fibra contra la otra durante la fusión para que no quede una sección reducida en el punto de soldadura. El aparato de soldadura debe controlar esas dos operaciones. Por último, el empalme puede someterse a pruebas para asegurar su longevidad sobre el terreno. Las pruebas pueden incorporarse al aparato de fusión y formar parte del proceso normal de empalme.

El punto de fusión del vidrio es una característica importante en los empalmes de fibras mediante soldadura por fusión. Tal vez sea necesario adaptar el ciclo de fusión (tiempo e intensidad de la corriente para la prefusión y la fusión) al tipo de fibras que se empalma. Además puede ser difícil la soldadura por fusión de fibras con grandes diferencias en los puntos de fusión.

3.2 Empalmes monofibra

3.2.1 Preparación de la fibra

Es necesario eliminar todos los recubrimientos en la región de los extremos de la fibra. La longitud de fibra sin recubrimiento varía según el aparato de empalme. Los recubrimientos pueden eliminarse utilizando productos químicos o preferiblemente, y para seguridad del operario, una herramienta mecánica para desnudar. Las herramientas y los procedimientos de desnudamiento no deben causar erosiones en la fibra, ya que ello puede disminuir seriamente su robustez.

Los extremos desnudos de las fibras se cortarán limpia y perpendicularmente al eje de la fibra; la superficie de los extremos debe quedar como un espejo sin astillas ni rebabas. Los ángulos en el extremo deberán ser de menos de un grado con relación a la perpendicular al eje, para permitir empalmes satisfactorios. En el mercado hay instrumentos para marcar y cortar que producen constantemente un ángulo en el extremo inferior a un grado. Un instrumento para cortar fibras debe tener las siguientes características:

- 1) buen control de la presión de la cuchilla sobre la superficie de la fibra para producir un corte de dimensiones constantes,
- 2) seguridad de que la cuchilla hace contacto con la fibra,
- 3) longitud controlada de la parte desnuda de la fibra cortada, y
- 4) tensión axial controlada sobre la fibra.

Es preferible que la herramienta sea fácil de usar y corte de un solo golpe.

3.2.2 Alineación de las fibras

Las fibras se fijan en las ranuras en «V» de aparatos posicionadores según los ejes x - y - z . En un aparato muy sencillo, los diámetros exteriores de los extremos desnudos de las fibras se alinean en ranuras en «V» con ayuda de un sistema de espejos, que permite ver en dos direcciones perpendiculares. Esta alineación sencilla es satisfactoria para los empalmes multimodo de baja pérdida, pero para los empalmes monomodo de baja pérdida puede que se precise un aparato más sofisticado con objeto de compensar los errores de concentricidad entre el núcleo y el revestimiento de la fibra.

Reemplazada por una versión más reciente

Debido a las propiedades intrínsecas de las fibras, los diámetros de los núcleos o los del campo modal pueden no hallarse muy bien alineados cuando sí lo están los diámetros exteriores, con lo cual la pérdida del empalme es superior a la mínima. La pérdida del empalme puede reducirse al mínimo utilizando la alineación activa de núcleos de fibras. El aparato de empalme debe optimizar automáticamente la luz transmitida a través del empalme y en consecuencia reducir al mínimo la pérdida del empalme. La optimización puede controlarse mediante un microprocesador. Conviene que el aparato dé una estimación de la pérdida del empalme.

En el curso de la fusión, la tensión superficial y las propiedades intrínsecas de la fibra pueden producir una desalineación de los núcleos de las fibras, lo que aumentará la pérdida del empalme. La reducción al mínimo de la cantidad de fibra libre en la zona de fusión puede minimizar la desalineación de los núcleos de las fibras en el empalme por fusión. Otra posibilidad consiste en que los programas de compensación controlen los parámetros de fusión y los posicionadores de fibras para reducir al mínimo el desplazamiento en la alineación de los núcleos.

3.2.3 *Protección del empalme*

El empalme por fusión requiere que se restablezca el recubrimiento de la fibra para protegerla del entorno, darle protección mecánica y aumentar la resistencia a la tracción de la fibra desnuda. Si se da rigidez mecánica al empalme con una varilla y se cubren la varilla y la zona del empalme con un tubo termorretractable revestido interiormente de un adhesivo, el empalme puede reforzarse y protegerse contra los daños producidos por la humedad. Otro método consiste en introducir el empalme en un adhesivo entre dos placas rígidas y paralelas o en un pequeño estuche (encapsulado).

3.3 *Empalme multifibra*

Las multifibras (incluyendo las cintas de fibras) pueden empalmarse por medio de aparatos de fusión en masa que aplican los mismos conceptos que los aplicados para empalmes monofibra. Deben controlarse los dos parámetros primordiales siguientes:

- 1) la supresión de la varianza de las posiciones de las caras de los extremos de las fibras mediante pinzas adecuadas,
- 2) la temperatura de fusión, que deberá ser la misma para todas las fibras.

El aparato de fusión controlará la temperatura de fusión para cada fibra, lo que puede hacerse desplazando las fibras a una distancia prescrita respecto al eje de los electrodos.

Con pinzas adaptadoras apropiadas, las fibras individuales se pueden empalmar varias a la vez en el mismo aparato empleado para unir por fusión cintas de fibras.

3.3.1 *Preparación de las fibras*

Para controlar la varianza de las posiciones de las caras de los extremos de las fibras, todas las fibras deben desnudarse y cortarse simultáneamente. Para eliminar las protecciones pueden emplearse disolventes químicos o una herramienta mecánica caldeada, en función de las características del recubrimiento.

3.3.2 *Alineación de las fibras*

Las multifibras se alinean en ranuras en «V». Pueden emplearse sistemas ópticos para controlar la varianza de los extremos de las fibras y la calidad de sus cortes. El aparato de fusión puede medir automáticamente esos parámetros y compararlos con los límites prescritos. Si se produce una condición que cae fuera de los límites, la fusión no se detendrá hasta que se efectúen las correcciones.

3.3.3 *Protección del empalme*

Los empalmes en masa por fusión pueden protegerse empleando los mismos métodos que los descritos en el § 3.2.3 para los empalmes monofibra por fusión.

4 **Empalmes mecánicos**

Un empalme mecánico de fibras tiene muchos elementos físicos, pero habitualmente todos comprenden los siguientes componentes fundamentales:

- 1) superficie para alinear los extremos de las fibras correspondientes,
- 2) retención para mantener las fibras alineadas, y
- 3) material de adaptación de índices (gel, grasa, adhesivo, etc.) colocado entre los extremos de las fibras.

Reemplazada por una versión más reciente

Algunos empalmes mecánicos pueden volverse a abrir, lo que da flexibilidad para reordenar la instalación de cables.

Existen empalmes mecánicos monofibra y multifibra. En algunos diseños, los dispositivos pueden instalarse en los extremos de las fibras de un cable en la fábrica para acelerar la realización del empalme sobre el terreno.

Con objeto de reducir las reflexiones de Fresnel es preciso utilizar un material de adaptación óptica. Este material se coloca entre los extremos de las fibras correspondientes y debe elegirse de modo que iguale las propiedades ópticas del vidrio. Se emplean corrientemente geles de silicona, adhesivos curables por rayos ultravioleta, resinas epóxicas y grasas ópticas.

4.1 *Empalmes de fibras unidas por adhesivos*

Estos empalmes son una subcategoría de los empalmes mecánicos. Las fibras se alinean utilizando los mismos métodos empleados para otros empalmes mecánicos. Los extremos de las fibras se unen a tope en un adhesivo. El adhesivo del empalme:

- 1) se adapta estrechamente al índice de refracción de las fibras,
- 2) afianza permanentemente las fibras en la posición alineada,
- 3) alivia el esfuerzo mecánico y sirve de soporte al empalme,
- 4) protege el empalme del entorno,
- 5) proporciona resistencia a la tensión axial, y
- 6) requiere resinas totalmente curadas.

4.2 *Preparación de la fibra*

Es preciso eliminar el recubrimiento de una parte de la región cercana a los extremos de las fibras, como se ha indicado en el § 3.2.1.

Según el método de empalme mecánico utilizado, puede ser necesario cortar los extremos de las fibras como se indica en el § 3.2.1.

Cuando el extremo de una fibra se introduce en una virola (o férula), es necesario pulir los extremos de la fibra y la virola para obtener una superficie común. La reflexión de Fresnel procedente de los extremos pulidos depende de la calidad del pulido y del material de adaptación utilizado entre los extremos de las fibras. Para obtener la menor reflexión posible, tal vez sea preciso pulir los extremos de la virola y de la fibra según un ángulo con respecto al eje de la fibra. A título de ejemplo puede citarse que las Administraciones han utilizado ángulos entre 5° y 10°.

En un empalme mecánico, que une fibras cortadas desnudas, es posible cortar los extremos de la fibra con un ángulo de 5° a 10° para reducir de forma significativa las reflexiones.

Los extremos de las fibras de una cinta o de un empalme multifibra pueden pulirse y también se pueden cortar en ángulo para reducir las reflexiones.

4.3 *Alineación de las fibras*

Para alinear los empalmes mecánicos se utilizan ranuras en «V» solas o en combinación con una superficie plana inflexible y ranuras en «V» triangulares adaptables. Las ranuras en «V» pueden ser rectas, curvas o resultantes de la formación del material de empalme (metal, etc.) a medida que éste se efectúa.

Para los empalmes multifibra se utilizan substratos de ranuras múltiples. Un empalme puede estar formado por una combinación de varios substratos paralelos sucesivos. El número de fibras de un solo empalme corresponde al número de fibras de la subunidad del cable. Los substratos deben tener excelentes características geométricas y ser estables respecto al medio ambiente y en el tiempo.

Las fibras pueden reunirse en un componente secundario, como es una virola de vidrio, para lograr la alineación y retención. Las virolas pueden insertarse en un manguito de alineación que permite la alineación activa de las fibras. Es posible utilizar la inyección y detección locales (LID, *local injection and detection*) de la luz a través del empalme para reducir al mínimo la pérdida de empalme.

Pueden emplearse componentes prealineados para disminuir la pérdida de empalme sin utilizar técnicas de alineación activa.

Reemplazada por una versión más reciente

4.4 *Protección del empalme*

Por lo general, el alojamiento integral del empalme proporciona protección mecánica. Los materiales de adaptación de índice utilizados en el empalme pueden proporcionar igualmente protección contra los daños producidos por la humedad.

5 **Métodos de prueba**

5.1 *Métodos de prueba para las características mecánicas*

En la presente sección se indican las pruebas y los métodos de prueba apropiados para verificar las características mecánicas de los empalmes de fibras ópticas.

Nota – En toda esta sección se hace referencia a la primera edición (1990) de la publicación 1073-1 de la CEI «Generic specifications for splices for optical fibres and cables» (Especificaciones generales para los empalmes de las fibras y los cables ópticos).

5.1.1 *Resistencia a la tracción*

Esta prueba se aplica al empalme de fibras terminado y da una medida de la integridad del empalme en condiciones de uso normales.

La prueba debe efectuarse conforme a lo indicado en la publicación 1073-1 de la CEI. Para la calidad de funcionamiento, valor típico es ≥ 5 N.

5.1.2 *Carga estática*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado; y mide la integridad del empalme después de someterlo a un pequeño esfuerzo de tensión.

El método de prueba está en estudio.

5.2 *Métodos de prueba para las características ambientales*

5.2.1 *Cambios de temperatura*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado; mide la compatibilidad de los materiales y la estabilidad del empalme a diversas temperaturas.

La prueba debe efectuarse conforme a lo indicado en la publicación 1073-1 de la CEI. En condiciones normales, el aumento de la pérdida de inserción durante los ciclos de temperatura debe ser $\leq 0,1$ dB, con un aumento permanente de la pérdida de inserción $\leq 0,05$ dB.

5.2.2 *Calor húmedo (estado estacionario)*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras ópticas terminado; se considera que es una prueba acelerada que mide la estabilidad del empalme en presencia de humedad.

La prueba debe efectuarse conforme a la publicación 1073-1 de la CEI. En condiciones normales, el aumento permanente de la pérdida de inserción debe ser $\leq 0,05$ dB.

5.2.3 *Temperatura de almacenamiento*

Esta prueba se aplica a los componentes de los empalmes mecánicos; mide la estabilidad térmica y la duración de vida en almacén de los componentes.

Este tema queda en estudio.

5.2.4 *Vibración*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado y mide la integridad del empalme y la calidad de las señales.

La prueba debe efectuarse conforme a la publicación 1073-1 de la CEI. En condiciones normales, el aumento de la pérdida durante la vibración ha de ser de $\leq 0,1$ dB, con un aumento permanente de la pérdida $\leq 0,05$ dB.

Reemplazada por una versión más reciente

5.3 *Métodos de prueba para las características ópticas*

5.3.1 *Pérdida de inserción*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado y mide la calidad del empalme.

La prueba debe efectuarse conforme se indica en la publicación 1073-1 de la CEI. Las medidas pueden efectuarse en el laboratorio o sobre el terreno. En laboratorio se prefiere el método de corte, mientras que sobre el terreno pueden emplearse los métodos de reflectometría óptica en el dominio del tiempo (OTDR, *optical time domain reflectometry*) bidireccionales. Los valores típicos pueden variar según la aplicación y/o el método utilizado. Normalmente las pérdidas de empalme mínimas son $\leq 0,1$ dB. En algunas aplicaciones resultan aceptables pérdidas de inserción típicas $\leq 0,5$ dB.

Además, algunas máquinas de empalme por fusión y aparatos de empalme mecánico hacen una estimación de la pérdida por empalme al efectuar éste. Algunas Administraciones y empresas de explotación privadas utilizan estas estimaciones durante la construcción de empalmes sobre el terreno, y pueden inspeccionar la ruta completa por un método OTDR al concluir la construcción de la ruta. Pueden también utilizarse otros métodos para estimar la pérdida de empalme en explotación real con medidores de potencia de mordazas y detección a inyección locales.

5.3.2 *Pérdida de retorno*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado; es una medida de la calidad del empalme. Varios tipos de sistemas de transmisión pueden ser sensibles a las reflexiones en los empalmes.

La prueba debe efectuarse conforme a la publicación 1073-1 de la CEI. En función del sistema se usa un nivel de 30 dB o más por debajo de la señal incidente.

5.3.3 *Diafonía*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado y mide la integridad de la señal.

La prueba debe efectuarse conforme se indica en la publicación 1073-1 de la CEI. Los valores típicos de la diafonía son de 60 dB o más.

5.3.4 *Pérdida espectral*

Esta prueba se aplica a un empalme de fibras terminado y puede afectar la capacidad de mejorar la ruta de fibras.

La prueba debe efectuarse conforme se indica en la publicación 1073-1 de la CEI. Por ejemplo, se están considerando variaciones de la pérdida $\leq 0,1$ dB en una gama de longitudes de onda de 1200 a 1600 nm.