

# Instalaciones de Fibra Óptica

*Fundamentos, técnicas y aplicaciones*

BOB CHOMYCZ

**Mc  
Graw  
Hill**



# **INSTALACIONES DE FIBRA ÓPTICA**

**Fundamentos, técnicas y aplicaciones**



# INSTALACIONES DE FIBRA ÓPTICA

## Fundamentos, técnicas y aplicaciones

**BOB CHOMYCZ**

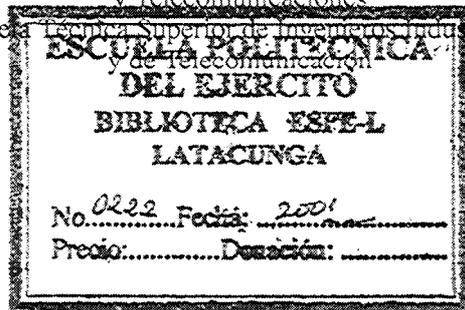
Traducción y revisión técnica

**JOSEBA ZUBIA**  
Profesor titular

**JON ARRUE**  
Profesor asociado

Departamento de Automática, Electrónica  
y Telecomunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales



MADRID • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA • MÉXICO  
NUEVA YORK • PANAMÁ • SAN JUAN • SANTAFÉ DE BOGOTÁ • SANTIAGO • SAO PAULO  
AUCKLAND • HAMBURGO • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • PARÍS  
SAN FRANCISCO • SIDNEY • SINGAPUR • ST. LOUIS • TOKIO • TORONTO



# CONTENIDO

---

Prólogo .....	xi
Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1. La revolución de la fibra óptica .....	1
1.2. Transmisión básica .....	3
1.3. Ventajas y desventajas .....	4
1.4. Aplicaciones .....	7
Capítulo 2. Propiedades de la luz .....	11
2.1. Espectro electromagnético .....	11
2.2. Propagación de la luz .....	13
Capítulo 3. Fibra óptica .....	17
3.1. Composición de una fibra óptica .....	17
3.2. Transmisión de luz en una fibra .....	21
3.3. Fibra multimodo .....	24
3.4. Fibra monomodo .....	27
3.5. Pérdidas de potencia óptica (atenuación) .....	28
3.6. Ancho de banda de la fibra .....	31
3.7. Especificación de una fibra óptica: un ejemplo .....	34
Capítulo 4. Composición del cable .....	35
4.1. Cable de estructura holgada .....	35
4.2. Cable de estructura ajustada .....	37
4.3. Cable de figura en 8 .....	38
4.4. Cable blindado .....	38
4.5. Otros cables .....	40
4.6. Composición del cable .....	42
4.7. Especificación de un cable de fibra óptica: un ejemplo .....	44

Capítulo 5. Adquisición de la fibra .....	45
Capítulo 6. Precauciones de seguridad .....	49
Capítulo 7. Manejo de un cable de fibra óptica .....	51
Capítulo 8. Instalaciones de cable en exteriores .....	55
8.1. Instalación de cable enterrado .....	55
8.2. Conductos para el cable .....	57
8.3. Lubricante del conducto .....	59
8.4. Cinta de tracción .....	60
8.5. Instalación del cable en conductos .....	60
8.6. Instalación aérea .....	67
Capítulo 9. Instalación del cable en interiores .....	71
9.1. Conductos y bandejas de cables .....	71
9.2. Cajas de tracción .....	72
9.3. Instalaciones verticales .....	73
9.4. Recorrido en los edificios .....	74
9.5. Procedimiento de instalación del cable .....	76
Capítulo 10. Empalmes y terminación .....	77
10.1. Cajas de empalmes .....	77
10.2. Bandejas de empalme .....	77
10.3. Paneles de conexión .....	79
10.4. Empalme .....	81
10.5. Terminación de una fibra óptica .....	86
10.6. Terminación de un cable de fibra óptica .....	91
Capítulo 11. Cordones de conexión y conectores .....	95
11.1. Cordones de conexión y latiguillos .....	95
11.2. Conectores .....	96
11.3. Limpieza de conectores .....	98
Capítulo 12. Procedimiento de verificación de la medida de potencia .....	101
12.1. El decibelio (dB) .....	101
12.2. Equipamiento .....	104
12.3. Pérdidas de los cordones de conexión .....	105
12.4. Medida de una instalación de fibra óptica .....	107
12.5. Medida de las pérdidas por retorno .....	111
12.6. Valoración técnica de un enlace por fibra óptica .....	111
Capítulo 13. Método de verificación con un reflectómetro OTDR .....	115
13.1. Equipamiento .....	116
13.2. Procedimiento .....	117
13.3. Determinación de la localización física de las anomalías .....	118
Capítulo 14. Procedimiento de verificación de una instalación .....	121
14.1. Verificaciones de un cable de fibra óptica .....	121
14.2. Criterio de aceptación de la fibra .....	125
14.3. Verificación de la tasa de error de bit (BERT) .....	126
14.4. Ensayo del umbral del receptor .....	128

<b>Capítulo 15. Equipo óptico</b> .....	131
15.1. Módem óptico .....	131
15.2. Multiplexor .....	133
15.3. Amplificadores ópticos .....	133
15.4. Generadores de luz .....	134
15.5. Detección óptica .....	135
<b>Capítulo 16. Integración del sistema</b> .....	137
16.1. Instalación en oficinas .....	137
16.2. Instalación en una planta industrial .....	139
16.3. Sistema de módem óptico .....	141
16.4. Sistema multiplexado .....	142
16.5. Ethernet .....	143
16.6. FDDI .....	144
16.7. Sonet .....	146
<b>Capítulo 17. Procedimiento general de instalación</b> .....	147
<b>Capítulo 18. Mantenimiento</b> .....	149
18.1. Mantenimiento que no afecta al servicio .....	149
18.2. Mantenimiento que afecta al servicio .....	150
<b>Capítulo 19. Reparación</b> .....	151
<b>Capítulo 20. Registros</b> .....	155
<b>Capítulo 21. Localización y reparación de averías</b> .....	157
<b>Capítulo 22. Fundamentos de diseño</b> .....	159
22.1. Fibras monomodo o multimodo .....	159
22.2. Sistemas básicos de fibra óptica .....	160
22.3. Cálculo del ancho de banda .....	170
22.4. Topologías de red .....	181
<b>Capítulo 23. Personal</b> .....	187
<b>Apéndice A: Glosario de términos y acrónimos</b> .....	191
<b>Apéndice B: Unidades</b> .....	201
<b>Apéndice C: Códigos de color de las fibras ópticas</b> .....	203
<b>Apéndice D: Registros de fibra óptica</b> .....	207
<b>Apéndice E: Guía de instaladores de fibra óptica (España)</b> .....	213
<b>Índice</b> .....	219



# PRÓLOGO

---

El principal objetivo de este libro es presentar los principios de las comunicaciones por fibra óptica y las técnicas que se utilizan para instalar y dimensionar sistemas en varios entornos de comunicaciones. Se ha puesto el énfasis en los métodos prácticos de instalación usando estándares industriales. El libro está escrito para personas con poco o ningún conocimiento en este campo.

La aproximación que he escogido para este libro no es ni altamente teórica ni he intentado cubrir la física de las comunicaciones ópticas. Hay disponibles un gran número de buenos libros que discuten los aspectos teóricos de las fibras ópticas, pero muy pocos libros tratan de los aspectos prácticos de las fibras ópticas en el mundo real. Debido a la naturaleza única de este medio, no se pueden aplicar las técnicas convencionales de instalación de cables eléctricos. Los empleados que trabajan con fibras ópticas no sólo necesitan entender la teoría básica, sino también los métodos prácticos utilizados para implementar esta tecnología. Este libro intenta lograr dicho objetivo.

*Instalaciones de fibra óptica* será de gran interés para los profesionales siguientes: técnicos, electricistas, instaladores de cable, personal de telecomunicaciones, personal de comunicaciones de datos, ingenieros, tecnólogos, gentes del oficio, estudiantes y otros con interés en este campo.

Los procedimientos y la información que se presentan en este libro tienen sólo la intención de servir como una guía general. Se debería contar con la asistencia de profesionales cualificados cuando se implemente cualquier sistema de fibra óptica.

*Bob Chomycz*



# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

---

### **1.1. LA REVOLUCIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA**

---

Durante los últimos veinte años, una revolución encubierta ha ido cambiando el mundo de las comunicaciones. Indirectamente afectará a todas nuestras vidas y aumentará nuestra capacidad de transmitir gran cantidad de información a través de largas distancias con extrema claridad y fidelidad. Esta revolución se centra en la sustitución de los cables de cobre por finas hebras de vidrio que transportan impulsos de luz.

Desde la historia conocida más antigua, la luz se ha usado para comunicar a distancia, aunque las técnicas empleadas han sido a menudo lentas y engorrosas. Históricamente, la comunicación ha estado limitada por condiciones atmosféricas —por ejemplo, era generalmente imposible con niebla o lluvia fuerte— y restringida a operaciones de visión directa. En tiempos tan remotos como los correspondientes a la antigua Grecia y los fenicios, la luz del sol se reflejaba con espejos para hacer señales entre torres, y esta técnica ha perdurado hasta la era moderna con algunas variaciones. Con el tiempo, la luz del sol ha sido reemplazada por luz artificial y la señal de encendido y apagado ha llegado a ser más estructurada, de forma que asemeja el código Morse. Los militares, por ejemplo, usan todavía una versión de esta técnica para algunas comunicaciones de baja velocidad entre barcos.

En el siglo pasado, Alexander Graham Bell trabajó en el proyecto Photophone para enviar voz mediante un haz de luz. La luz del sol se reflejaba en un espejo que vibraba con las ondas sonoras de la voz. El receptor era una fotocélula que generaba una corriente eléctrica que pasaba al altavoz. La idea era buena, pero la tecnología no estaba preparada para que el uso fuera práctico.

Tras la invención del láser en 1958, se llevaron a cabo estudios posteriores de comunicación luminosa por el aire. Los láseres proporcionan una banda estrecha de radiación de luz que se puede curvar mediante espejos. Sin embargo, la comunicación

mediante luz no fue práctica, pues, dado que se requería visibilidad directa, la niebla o la lluvia podían obstruir el enlace rápidamente. Los experimentos continuaron con la propagación de la luz en un medio vítreo. El medio vítreo se prefirió al aire por su naturaleza constante y porque no se veía afectado por variaciones medioambientales.

En 1970 se descubrió la primera fibra óptica de bajas pérdidas. La fibra óptica hecha de sílice de 250 micras de diámetro —similar al tamaño de un cabello humano— se utilizó para la propagación de la luz en el laboratorio. Éste fue el comienzo de la óptica de fibras.

Poco después, el proceso de fabricación de finas hebras de fibra de vidrio se perfeccionó y, a mediados de los años setenta, Corning Inc. desarrolló el primer cable de fibra óptica comercial. Este hecho impulsó la revolución de las fibras ópticas. Seguidamente los sistemas de distancias cortas fueron probados por muchas compañías telefónicas. Por medio del refinamiento continuo de esta tecnología, las distancias de comunicación se fueron incrementando y aparecieron más productos disponibles.

En 1980, Bell anunció la instalación de 611 millas de fibra óptica en su corredor del noreste de Estados Unidos. De la misma manera, Saskatchewan Telephone anunció la instalación de 3.600 km de fibra óptica en Canadá. En las Olimpiadas de Invierno de 1980, en Lake Placid, se utilizaron fibras por primera vez para transmitir señales de televisión. En los años siguientes, las fibras ópticas ganaron gradualmente popularidad en el mundo de las telecomunicaciones. Hoy en día es una tecnología ampliamente aceptada y probada. La sustitución de las viejas líneas de comunicación de hilo por los nuevos cables de fibra óptica es la norma de muchas aplicaciones.

El principio básico de encendido y apagado de la comunicación con luz utilizado en el pasado es similar al utilizado hoy en las fibras ópticas. La señal de información a transmitir controla una fuente de luz encendiéndola y apagándola en una secuencia codificada particular o variando su intensidad. La luz se acopla a una fibra óptica que la guía a lo largo de la distancia de la comunicación. En el extremo del receptor, un detector decodifica la luz y reproduce la información de la señal.

Aunque la luz viaja en línea recta en el espacio libre, las propiedades del vidrio de una fibra óptica guían la luz alrededor de los dobleces y permiten a las rutas de cable de fibra óptica trabajar como las rutas de cable estándar de hilo de cobre, con algunas restricciones. La distancia de propagación está determinada principalmente por las pérdidas de luz en la fibra óptica y por la velocidad de conmutación. En el otro extremo de la fibra óptica, la luz se acopla a un fotodetector sensible a la intensidad de luz que convierte la señal pulsante luminosa en una señal eléctrica útil.

La tecnología actual de fibra óptica de hoy puede soportar velocidades de transmisión por encima de los 2.000 millones de pulsos por segundo. Esto se traduce en unas 60.000 llamadas telefónicas simultáneas. Un cable estándar de 200 fibras puede portar 6.000.000 de conversaciones telefónicas, mientras que un cable de cobre de tamaño similar sólo puede llevar 10.000 conversaciones.

La fibra óptica no tiene en cuenta el tipo de señal que se está propagando; esto la convierte en un medio versátil disponible para prácticamente todos los tipos de comunicación, incluyendo telefonía, vídeo, televisión, imágenes, ordenadores, redes de área local (RAL)\*, redes de área extensa (RAE), sistemas de control, etc.

---

\* *Nota del traductor:* Se ha traducido el acrónimo de Local Area Network (LAN) como RAL. Ídem para Wide Area Network (WAN), que se ha traducido como RAE.

Una instalación de cable de fibra óptica se puede utilizar para un sinnúmero de aplicaciones.

A medida que madura esta revolución luminosa, podemos esperar un servicio mejor y más amplio para nuestras necesidades diarias. Las compañías de televisión por cable están incorporando fibra óptica en sus redes, por lo que podremos disfrutar de una gran selección de canales con mejor calidad de imagen. La televisión interactiva que utiliza fibra óptica se está probando en muchas localidades. Las fibras ópticas también se están utilizando en muchas industrias para la transmisión de datos de ordenador a velocidades altas, a lo largo de una fábrica o cruzando países.

## 1.2. TRANSMISIÓN BÁSICA

Las fibras ópticas involucran la transmisión de información mediante luz a lo largo de fibras transparentes hechas de vidrio o plástico. Una fuente de luz *modula* un diodo emisor de luz (LED) o un láser, que se enciende, apaga o varía su intensidad, de tal manera que representa la señal eléctrica de entrada que contiene la información. La luz modulada se acopla a una fibra óptica a través de la cual se propaga la luz. Un detector óptico en el lado opuesto de la fibra recibe la señal modulada y la convierte en una señal eléctrica idéntica a la señal de entrada.

Las técnicas de transmisión de la luz se pueden dividir en tres grandes categorías: modulación digital, modulación analógica y modulación digital con conversión

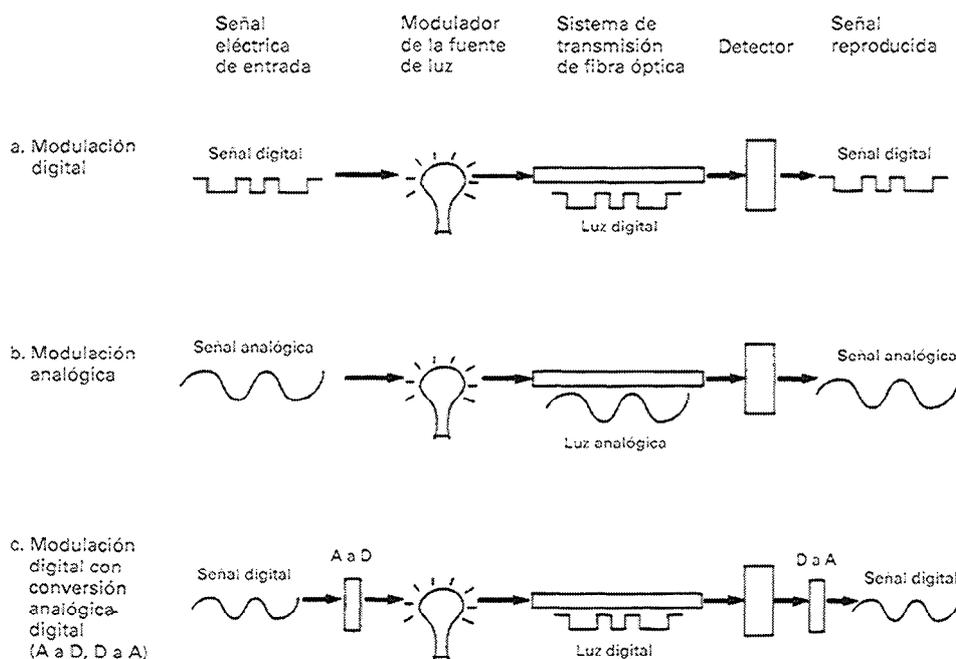


FIGURA 1.1. Transmisión básica mediante fibra óptica.

analógica-digital. La modulación digital cambia la conversión de una señal de entrada eléctrica digital en una secuencia similar codificada de pulsos de luz (digital) (ver Fig. 1.1a). Debido a que todas las comunicaciones entre ordenadores usan comunicaciones digitales eléctricas, este tipo de modulación es adecuada para la transmisión de datos entre ordenadores.

Las señales de comunicación analógicas, como aquellas que se usan para la transmisión de voz o vídeo, varían en su amplitud eléctrica y período. La modulación analógica convierte esta señal eléctrica de entrada en una señal óptica cuya intensidad varía de forma similar (ver Fig. 1.1b). Esta técnica puede ser relativamente barata y se usa a menudo en aplicaciones de módems de fibra óptica.

Las señales analógicas se pueden convertir también a un formato digital utilizando un conversor analógico-digital (conversor A a D) antes de la etapa de modulación. Las señales luminosas digitales se propagan así en la fibra óptica (Fig. 1.1c). En el otro extremo la señal de luz digital se convierte en una señal digital eléctrica mediante un detector. A continuación un segundo conversor analógico-digital convierte la señal digital de vuelta a su forma analógica original. Esta técnica proporciona a la señal el mismo formato que otras señales digitales y permite que se puedan agregar un gran número de señales utilizando equipamiento de multiplexado. Las técnicas de transmisión (en Fig. 1.1a, 1.1b y 1.1c) sólo muestran la transmisión de información en un sentido. Sin embargo, la mayoría de los sistemas requieren comunicaciones simultáneas y completas en ambos sentidos. Por tanto, se implementa un segundo grupo idéntico de dispositivos de modulación y detección en sentido opuesto para formar un sistema de comunicación bidireccional completamente funcional (ver Fig. 1.2).

### 1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La fibra óptica se ha convertido en un medio popular para muchos requerimientos de comunicaciones. Su atractivo se puede atribuir a las muchas ventajas que presenta la fibra óptica sobre otros métodos de transmisión eléctricos convencionales. Este medio de transmisión luminoso tiene también, sin embargo, impedimentos que deberían

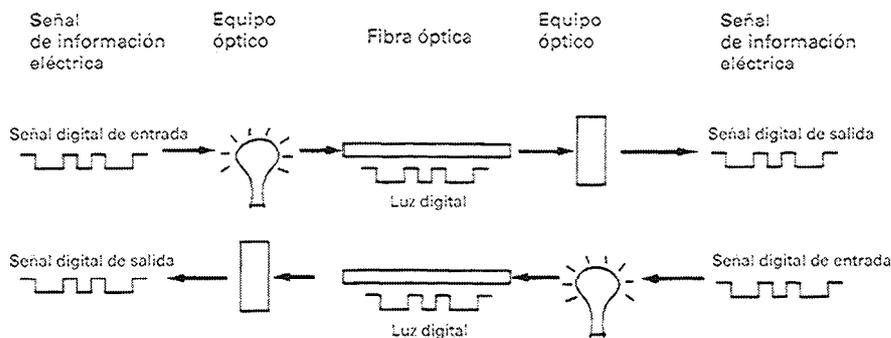


FIGURA 1.2. Comunicación bidireccional.

examinarse antes de proceder a su instalación. Las siguientes secciones describen algunas de estas consideraciones.

## Ventajas

**Gran capacidad.** La fibra óptica tiene la capacidad de transmitir grandes cantidades de información. Con la tecnología presente se pueden transmitir 60.000 conversaciones simultáneamente con dos fibras ópticas. Un cable de fibra óptica [2 cm de diámetro exterior (DE)] puede contener hasta 200 fibras ópticas, lo que incrementaría la capacidad del enlace a 6.000.000 de conversaciones. En comparación con las prestaciones de los cables convencionales, un gran cable multipar puede llevar 500 conversaciones, un cable coaxial puede llevar 10.000 conversaciones y un enlace de radio por microondas o satélite puede llevar 2.000 conversaciones.

**Tamaño y peso.** Un cable de fibra óptica tiene un diámetro mucho más pequeño y es más ligero que un cable de cobre de capacidad similar. Esto la hace fácil de instalar, especialmente en localizaciones donde ya existen cables (tales como los tubos ascendentes de los edificios) y el espacio es escaso.

**Interferencia eléctrica.** La fibra óptica no se ve afectada por la interferencia electromagnética (EMI) o interferencia de radiofrecuencia (RFI), y no genera por sí misma interferencia. Puede suministrar un camino para una comunicación limpia en el más hostil de los entornos EMI. Las empresas eléctricas utilizan la fibra óptica a lo largo de las líneas de alta tensión para proporcionar una comunicación clara entre sus estaciones de conmutación. La fibra óptica está también libre de conversaciones cruzadas. Incluso si una fibra radiara no podría ser recapturada por otra fibra óptica.

**Aislamiento.** La fibra óptica es un dieléctrico. Las fibras de vidrio eliminan la necesidad de corrientes eléctricas para el camino de la comunicación. Un cable de fibra óptica propiamente dieléctrico no contiene conductores eléctricos y puede suministrar un aislamiento eléctrico normal para multitud de aplicaciones. Puede eliminar la interferencia originada por las corrientes a tierra o por condiciones potencialmente peligrosas causadas por descargas eléctricas en las líneas de comunicación, como los rayos o las faltas eléctricas. Es un medio intrínsecamente seguro que se utiliza a menudo donde el aislamiento eléctrico es esencial.

**Seguridad.** La fibra óptica ofrece un alto grado de seguridad. Una fibra óptica no se puede intervenir por medio de mecanismos eléctricos convencionales como conducción superficial o inducción electromagnética, y es muy difícil de pinchar ópticamente. Los rayos luminosos viajan por el centro de la fibra y pocos o ninguno pueden escapar. Incluso si la intervención resultara un éxito, se podría detectar monitorizando la señal óptica recibida al final de la fibra. Las señales de comunicación vía satélite o radio se pueden intervenir fácilmente para su decodificación.

**Fiabilidad y mantenimiento.** La fibra óptica es un medio constante y no envejece. Los enlaces de fibra óptica bien diseñados son inmunes a condiciones adversas de humedad y temperatura y se pueden utilizar incluso para cables subacuáticos. La fibra óptica tiene también una larga vida de servicio, estimada en más de treinta años para algunos cables. El mantenimiento que se requiere para un sistema de fibra

óptica es menor que el requerido para un sistema convencional, debido a que se requieren pocos repetidores electrónicos en un enlace de comunicaciones; no hay cobre que se pueda corroer en el cable y que pueda causar la pérdida de señales o señales intermitentes; y el cable no se ve afectado por cortocircuitos, sobretensiones o electricidad estática.

**Versatilidad.** Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica son los adecuados para la mayoría de los formatos de comunicaciones de datos, voz y vídeo. Estos sistemas son adecuados para RS232, RS422, V.35, Ethernet, Arcnet, FDDI, T1, T2, T3, Sonet, 2/4 cable de voz, señal E&M, vídeo compuesto y muchos más.

**Expansión.** Los sistemas de fibra óptica bien diseñados se pueden expandir fácilmente. Un sistema diseñado para una transmisión de datos a baja velocidad, por ejemplo, T1 (1.544 Mbps), se puede transformar en un sistema de velocidad más alta, OC-12 (622 Mbps), cambiando la electrónica. El cable de fibra óptica utilizado puede ser el mismo.

**Regeneración de la señal.** La tecnología presente puede suministrar comunicaciones por fibra óptica más allá de los 70 km (43 millas) antes de que se requiera regenerar la señal, la cual puede extenderse a 150 km (93 millas) usando amplificadores láser. Futuras tecnologías podrán extender esta distancia a 200 km (124 millas) y posiblemente 1.000 km (621 millas). El ahorro en el coste del equipamiento del repetidor intermedio, así como su mantenimiento, puede ser sustancial. Los sistemas de cable eléctrico convencional pueden, en contraste, requerir repetidores cada pocos kilómetros.

## Desventajas

**Conversión electro-óptica.** Antes de conectar una señal eléctrica de comunicación a una fibra óptica, la señal debe convertirse al espectro luminoso [850, 1.310 o 1.550 nanómetros (nm)]. Esto se realiza por medios electrónicos en el extremo del transmisor, el cual da un formato propio a la señal de comunicaciones y la convierte en una señal óptica usando un LED o un láser de estado sólido. A continuación, esta señal óptica se propaga por la fibra óptica. En el extremo del receptor de la fibra óptica, la señal óptica se debe convertir otra vez en señal eléctrica antes de poder ser utilizada. El coste de conversión asociado a la electrónica debería ser considerado en todas las aplicaciones.

**Caminos homogéneos.** Se necesita un camino físico recto para el cable de fibra óptica. El cable se puede enterrar directamente, situar en tubos o disponer en cables aéreos a lo largo de caminos homogéneos. Esto puede requerir la compra o alquiler de la propiedad. Algunos derechos sobre el camino pueden ser imposibles de adquirir. Para localizaciones como terrenos montañosos o algunos entornos urbanos pueden ser más adecuados otros métodos de comunicación sin hilos.

**Instalación especial.** Debido a que la fibra óptica es predominantemente vidrio de sílice, son necesarias técnicas especiales para la ingeniería e instalación de los enlaces. Ya no se aplican los métodos convencionales de instalación de cables de hilos

como, por ejemplo, sujeción o crimpado, soldadura y *wire-wrapping*\*. También se requiere un equipamiento adecuado para probar y poner en servicio las fibras ópticas. Los técnicos deben ser entrenados para la instalación y puesta en servicio de los cables de fibra óptica.

**Reparaciones.** Un cable de fibra óptica que ha resultado dañado no es fácil de reparar. Los procedimientos de reparación requieren un equipo de técnicos con mucha destreza y habilidad en el manejo del equipamiento. En algunas situaciones puede ser necesario reparar el cable entero. Este problema puede ser aún más complicado si hay un gran número de usuarios que cuentan con dicho servicio. Es importante, por ello, el diseño de un sistema propio con rutas físicamente diversas, que permita afrontar tales contingencias. Aunque pueda haber muchas ventajas que favorezcan una instalación de fibra óptica, deberán ser sopesadas cuidadosamente frente a sus desventajas en cada aplicación. Deberían ser analizados todos los costes de operación e implementación de un servicio de fibra óptica.

## 1.4. APLICACIONES

---

Un cable de fibra óptica se usa frecuentemente como un medio de comunicación para muchas aplicaciones diferentes. Bastantes compañías telefónicas, por ejemplo, están desplegando la fibra óptica para suministrar comunicaciones entre sus oficinas centrales (OCs), en todas las ciudades, a lo largo de los países o sobre largas rutas oceánicas (ver Fig. 1.3). En la actualidad existen planes para llevar la fibra directamente a casa para transmisiones de videoteléfono de alta calidad. La fibra óptica suministra un enlace de alta calidad y seguro para tráfico de vídeo, voz y datos.

Las compañías de televisión por cable están desplegando cables de fibra óptica para llevar señales de alta calidad desde su centro de cabecera hasta las localizaciones de los centros de actividad, distribuidos alrededor de las ciudades (ver Fig. 1.4). La fibra óptica mejora la calidad de las señales de televisión y aumenta el número de canales disponibles. Los planes futuros involucran la conexión de fibra óptica directamente a casa para abastecer al usuario de muchos y nuevos servicios. Se han planteado para el futuro algunos de tales servicios basados en fibra óptica, como la televisión interactiva, el banco en casa o el sistema de trabajo de oficina en casa.

La fibra óptica es ideal para comunicaciones de datos. Se pueden conseguir velocidades muy altas de transmisión de datos con un cable fino de fibra óptica. Las señales no se ven distorsionadas por interferencias y no causan ningún tipo de interferencia por sí mismas. Las propiedades dieléctricas de las fibras ópticas suministran una interfaz segura entre ordenadores, terminales y estaciones de trabajo. No hay ninguna posibilidad de que bucles de grandes corrientes a tierra puedan poner en peligro a los usuarios o dañar caros ordenadores.

Muchos centros de ordenadores utilizan fibra óptica para sus RAL de comunicaciones de datos de alta velocidad (ver Fig. 1.5). Hay una amplia variedad de produc-

---

\* *Nota del traductor:* La técnica de *wire-wrapping* consiste en conectar componentes por medio de hilos conductores individuales, los cuales se enrollan en patillas terminales usando una herramienta especial. Es una técnica muy utilizada en Electrónica.



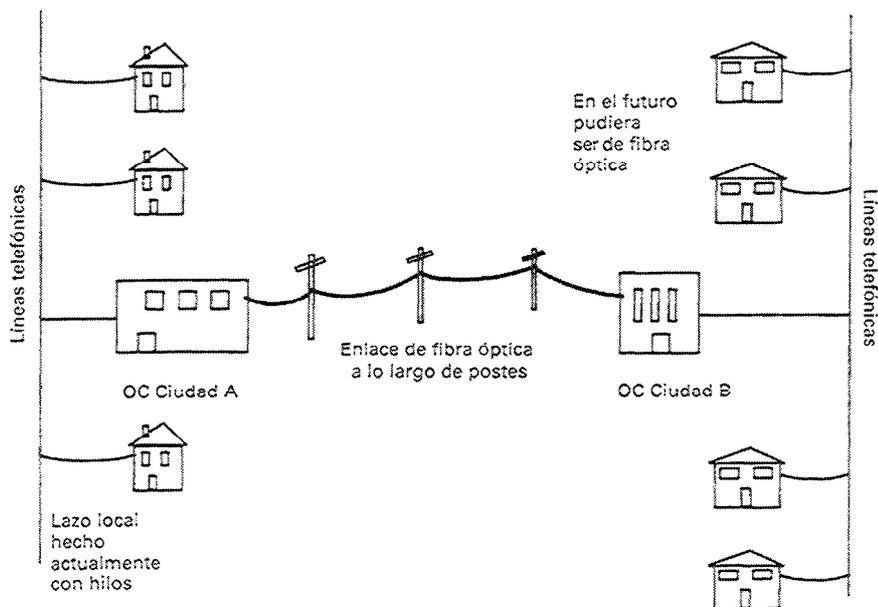


FIGURA 1.3. Oficinas centrales (OCs) conectadas mediante fibra óptica.

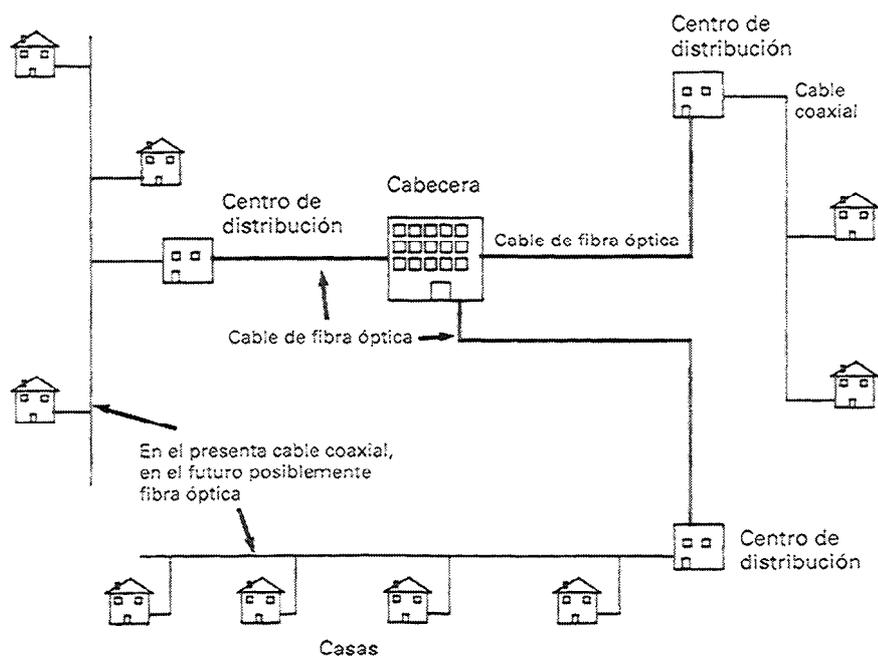
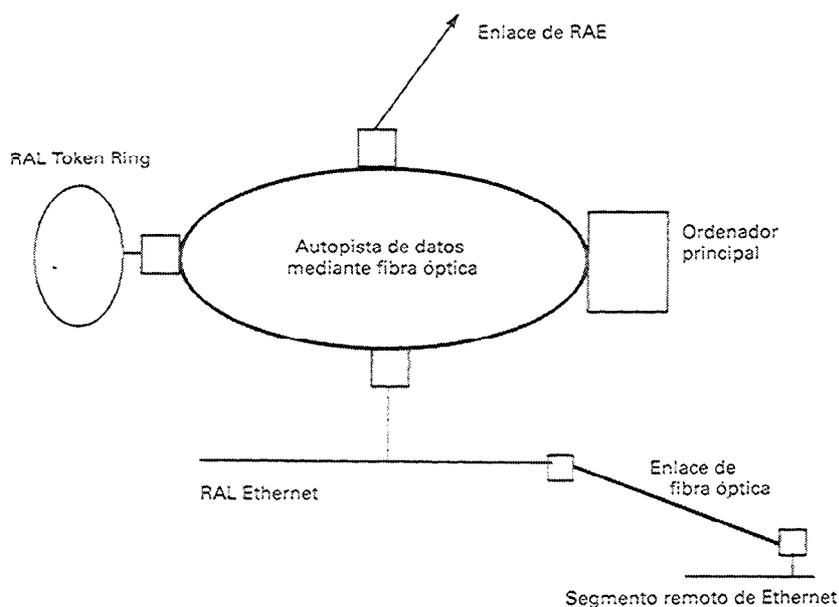


FIGURA 1.4. Distribución de TV por cable mediante fibra.



**FIGURA 1.5.** Fibra óptica en un entorno de red de área local (RAL).

tos disponibles para muchas aplicaciones diferentes. Las autopistas de la información de alta velocidad, como la interfaz de datos distribuidos por fibra (FDDI), el modo de transferencia asíncrono (ATM), o Sonet, se encuentran disponibles para proporcionar una conectividad vertebral entre varias redes. Estas nuevas tecnologías ofrecen beneficios tales como altas velocidades de transmisión de datos, incremento en las distancias de enlace y comunicaciones seguras y fidedignas. En la actualidad, grandes cantidades de datos pueden atravesar rápida y eficientemente amplias áreas geográficas.

Debido a que la fibra óptica supone una inversión rentable, las compañías la están instalando en áreas metropolitanas. Estas redes de área metropolitana (RAM)\* tienen todos los requerimientos de las comunicaciones actuales y permiten una amplia expansión de sistemas futuros (Fig. 1.6).

Los negocios pueden ahora estar distribuidos geográficamente pero permanecer conectados y estar en todo momento disponibles. Los beneficios pueden ser enormes. Los bancos, por ejemplo, pueden tener todas sus sucursales conectadas a altas velocidades para todo tipo de transacciones. Los centros comerciales pueden mantener un control centralizado de sus sistemas de ordenador en el punto de venta. Pueden realizar a demanda ajustes de inventario y precio. Grandes firmas con amplios requerimientos de ordenadores como corredurías, compañías de seguros y oficinas gubernamentales pueden mantener comunicaciones de alta velocidad continuas y seguras. Las industrias, igualmente, pueden mantener un control directo sobre la producción e inventario de sus plantas .

\* Nota del traductor: Acrónimo correspondiente a la voz inglesa MAN.

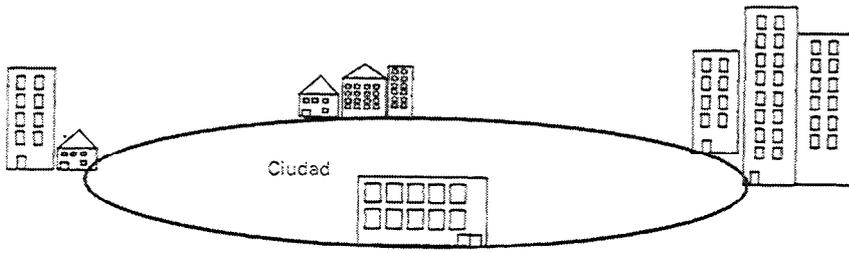


FIGURA 1.6. Fibra óptica en un entorno de red de área metropolitana (RAM).

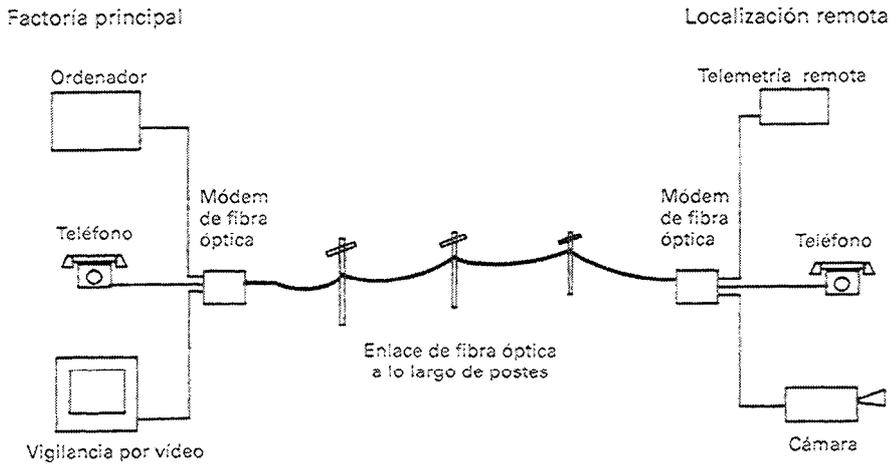


FIGURA 1.7. Fibra óptica en un entorno industrial.

La industria utiliza las comunicaciones vía fibra óptica para mejorar la fiabilidad y capacidad de las transmisiones de datos y control. Debido a la inherente naturaleza de las comunicaciones ópticas, la fibra es inmune a todas las interferencias eléctricas provocadas por grandes motores, conmutadores, luces y otros dispositivos que se encuentran frecuentemente en entornos industriales (ver Fig. 1.7). La versatilidad de las fibras ópticas permite que todas las transmisiones de datos de ordenador, teléfono, vídeo, control y sensores se puedan llevar a cabo con un único cable de fibra óptica.

# Capítulo 2

## PROPIEDADES DE LA LUZ

### 2.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La luz se comporta como una onda electromagnética y pertenece al espectro electromagnético (EEM). El número de oscilaciones por segundo que completa una onda electromagnética se denomina *frecuencia*. La luz visible tiene una frecuencia alrededor de  $2.3 \times 10^{14}$  ciclos por segundo. Un ciclo por segundo se denomina frecuentemente hercio (Hz). Como muestra la Figura 2.1, las frecuencias de la luz son mucho más altas que otras frecuencias de ondas electromagnéticas, como las de las ondas de radio y televisión.

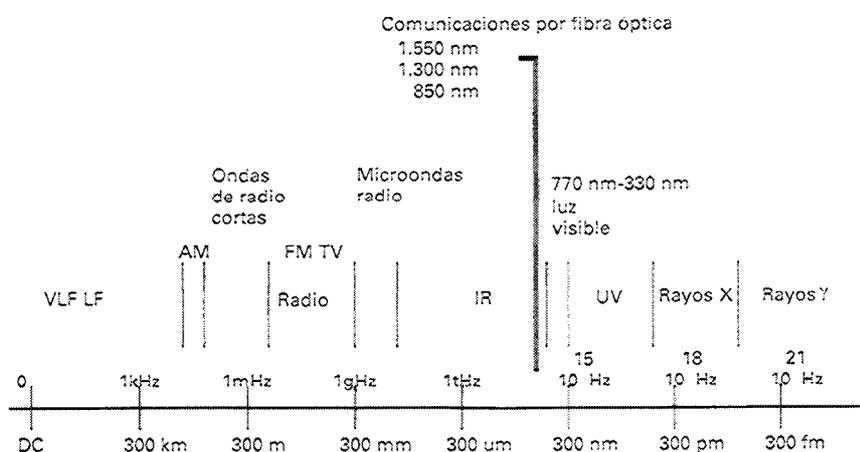


FIGURA 2.1. Espectro electromagnético.

## Teoría ondulatoria

$$\lambda = c/f$$

donde  $\lambda$  = la longitud de onda en metros

$c$  = la velocidad de la luz en el medio

$f$  = la frecuencia de la luz en ciclos por segundo o hercios

La longitud de onda electromagnética ( $\lambda$ ) es la longitud en metros correspondiente a un ciclo de una onda. La longitud de onda de la luz visible está en el rango que va desde  $770 \times 10^{-9}$  metros a  $330 \times 10^{-9}$  metros. Una milmillonésima de metro,  $10^{-9}$ , se denomina comúnmente nanómetro (nm). Existe una relación matemática entre la frecuencia y la longitud de onda,  $\lambda = c/\text{frecuencia}$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz en el material en el cual se propaga. La luz se caracteriza normalmente por el valor de su longitud de onda en nanómetros más que por su frecuencia.

La luz que se usa para las comunicaciones por fibra óptica se sitúa en la región infrarroja (IR) del espectro, justo por debajo de la luz visible. Las ventanas del espectro de comunicaciones por fibra óptica están en 1.550, 1.310 y 850 nm. La luz visible al ojo humano empieza alrededor de 770 nm (rojo) y termina en 330 nm (azul); por tanto, la luz que se utiliza en las fibras ópticas no es visible generalmente para el ojo. En algunas circunstancias, cuando se utilizan LEDs de amplio espectro para transmisiones a 850 nm, una parte del espectro del LED puede estar dentro de la región visible. En estas circunstancias se puede observar una profunda luz roja.

Se debe prestar una extrema precaución a la luz proveniente de una fibra óptica. Sea visible o invisible, ciertas formas de luz que llevan las fibras ópticas pueden causar un daño irreparable al ojo. Se deberá extremar en todo momento el cuidado para asegurarnos de que la luz proveniente de la fibra óptica no entra en el ojo directamente o indirectamente reflejada desde una superficie (véase el Capítulo 6, sobre precauciones de seguridad).

La naturaleza de alta frecuencia de la luz utilizada en la fibra óptica ( $2.3 \times 10^{14}$  Hz) permite que la luz lleve información a velocidades muy altas. Actualmente, los equipamientos de transmisión pueden modular la luz a 2,4 Gbps ( $2.4 \times 10^9$  bps). Esta velocidad es mucho mayor que la que soportan medios de transmisión eléctricos convencionales y no es la máxima que se puede conseguir.

La luz también se comporta como una partícula denominada fotón y tiene una energía  $E$  que se puede calcular usando la fórmula  $E = hc/\lambda$  y expresar en unidades llamadas julios. En la fórmula anterior,  $h$  es la constante de Planck, igual a  $6.626 \times 10^{-34}$  julios/segundo,  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz en metros, y  $c$  es la velocidad de la luz en el medio en el cual se propaga (en el vacío,  $c = 2.998 \times 10^8$  m/s). La potencia se define como la velocidad a la cual se libera la energía; por tanto, la potencia en vatios se puede escribir como  $P = E/t$ , donde  $t$  es el tiempo. El comportamiento de la luz como partícula explica cómo las fuentes generan luz y cómo los detectores son capaces de reconvertir la luz en energía eléctrica.

## Teoría corpuscular

$$E = hc/\lambda$$

donde  $E$  = energía del fotón en julios

$h$  = constante de Planck

$c$  = velocidad de la luz en el medio

$\lambda$  = longitud de onda de la luz en metros

## 2.2. PROPAGACIÓN DE LA LUZ

En el espacio libre, la luz viaja en línea recta a la velocidad de 299.800 km/s o 186.292 Mi/s. La dirección a lo largo de la cual se propagan las ondas de luz se denomina *rayo de luz* y se usa en fibra óptica para explicar muchas características de la fibra.

Cuando un rayo de luz pasa de un material a otro diferente, cambia su velocidad y dirección en la frontera que separa ambos materiales. Si el segundo medio es transparente, parte de la luz entra en el material. En la frontera entre los dos materiales, el rayo de luz se tuerce antes de continuar por el segundo material. Este cambio de dirección se denomina *refracción*.

Por ejemplo, si una persona está en la orilla de un lago y ve un pez en el agua, la localización física del pez es diferente de la localización que aparenta tener para el observador. A medida que un rayo de luz viaja desde el pez en el agua (primer material) a la persona que está en la orilla sobre la superficie (segundo material), el rayo se encuentra con la frontera agua-aire. En esta frontera, el rayo de luz se refracta (tuerce) antes de continuar en línea recta hacia la persona (ver Fig. 2.2).

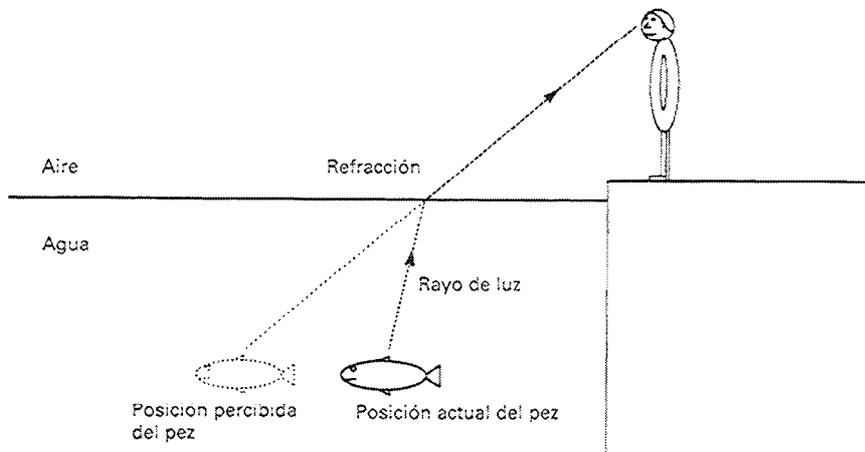


FIGURA 2.2. Refracción.

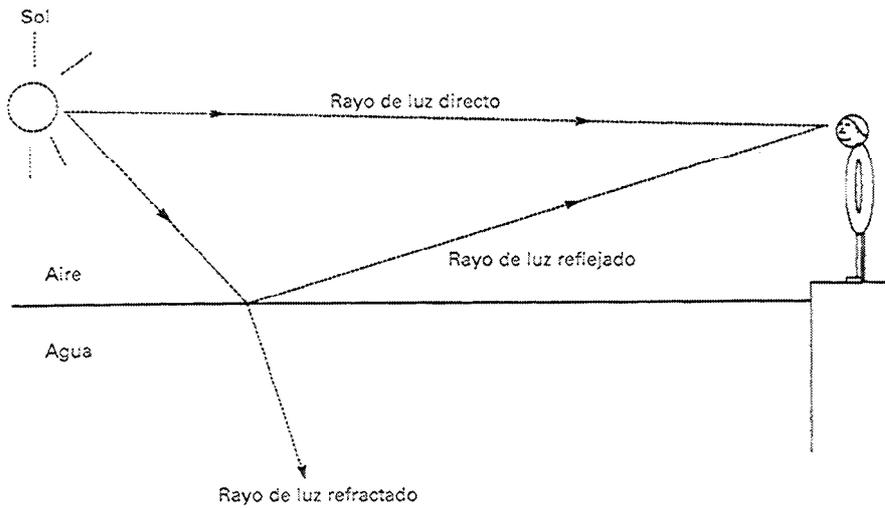


FIGURA 2.3. Reflexión.

Debido a la refracción del rayo de luz, la posición física del pez es diferente de la posición que parece ocupar. Si una persona quisiera coger el pez, él o ella deberían apuntar ligeramente desviado de la posición que se percibe del pez. Además, cuando la luz pasa de un material a otro diferente, parte de la luz no entra en el segundo material, sino que es *reflejada* de vuelta al primero.

Por ejemplo, una persona mirando una puesta de sol sobre un lago puede ver el

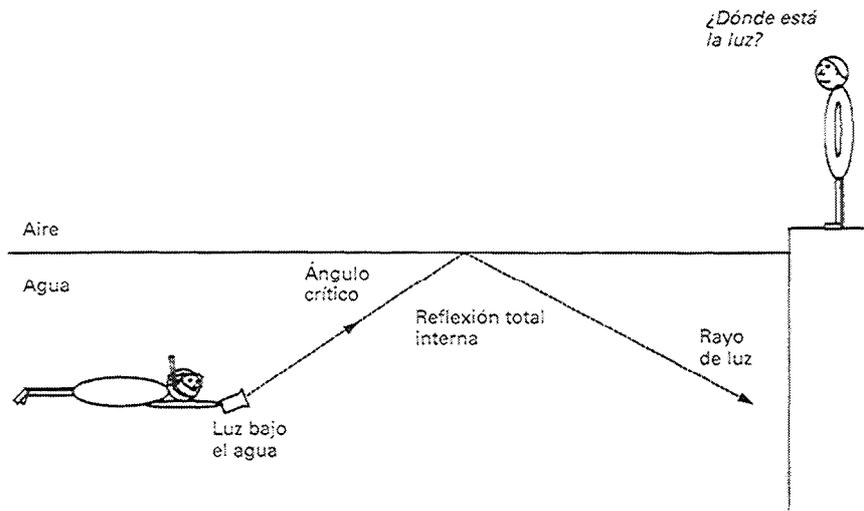


FIGURA 2.4. Reflexión total.

reflejo del sol en el lago. Algunos rayos de luz emitidos por el sol viajan directamente hacia la persona, mientras que otros rayos de sol inciden en la superficie del agua. Los rayos de sol que inciden en la superficie del agua son bien reflejados de vuelta hacia la atmósfera y vistos por el observador o bien refractados en el agua (y vistos por el pez). La luz se refleja en la superficie aire-agua pero no completamente (ver Fig. 2.3).

Se observaría este mismo comportamiento de la luz si la fuente de luz estuviera bajo el agua. Parte de la luz que chocaría con la superficie de separación aire-agua sería reflejada de vuelta al agua, y el resto sería refractado al aire. En esta situación tiene lugar un fenómeno adicional. Para un cierto ángulo, todos los rayos que golpean la superficie aire-agua se reflejan de vuelta al agua —ninguno escapa al aire— (ver Fig. 2.4). Este fenómeno, también conocido como reflexión total, es la base del confinamiento de la luz en una fibra óptica.



# Capítulo 3

## FIBRA ÓPTICA

---

### 3.1. COMPOSICIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA

---

Una *fibra óptica* consiste en un material transparente cilíndrico y largo que confina y propaga ondas luminosas (ver Fig. 3.1). Está compuesta de tres capas diferentes: el núcleo central que lleva la luz, el revestimiento que cubre el núcleo y que confina la luz dentro del núcleo, y el recubrimiento que dota de protección al revestimiento. El núcleo y el revestimiento están formados frecuentemente por vidrio de sílice, mientras que el recubrimiento es un plástico o una cubierta acrílica.

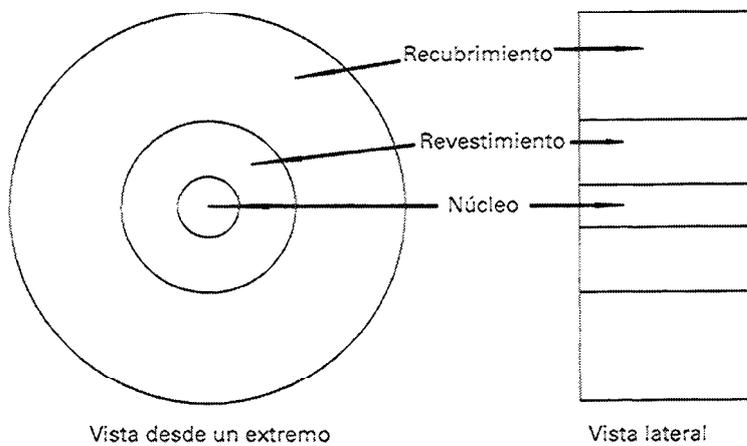


FIGURA 3.1. Fibra óptica.



Las capas del núcleo de sílice y del revestimiento difieren ligeramente en su composición, debido a pequeñas cantidades de materiales, como boro o germanio, que son añadidos durante el proceso de fabricación. Esto altera las características del *índice de refracción* de ambas capas, dando lugar a las propiedades de confinamiento de la luz necesarias para la propagación de los rayos.

El índice de refracción del núcleo de sílice tiene un valor alrededor de 1,5 y el del revestimiento es ligeramente menor, alrededor de 1,48. El índice de refracción del aire es 1,003. El recubrimiento de la fibra está normalmente coloreado, usando códigos de color estándar del fabricante, que facilitan la identificación de la fibra. Las fibras ópticas pueden también estar hechas completamente de plástico o de otros materiales. Estas fibras son generalmente menos caras pero tienen una atenuación mayor (pérdidas) y una aplicación limitada.

### Diámetros usuales de la fibra

Las fibras ópticas que se usan en telecomunicaciones se fabrican en cinco grupos principales, atendiendo a los diámetros del núcleo y del revestimiento, como se ilustra en la siguiente tabla:

**Diámetros comunes de una fibra óptica y de su protección ( $\mu\text{m}$ )**

	Núcleo	Revestimiento	Recubrimiento	Tubo o protección
I	8 a 10	125	250 o 500	900 o 2.000
II	50	125	250 o 500	900 o 2.000
III	62,5	125	250 o 500	900 o 2.000
IV	85	125	250 o 500	900 o 2.000
V	100	140	250 o 500	900 o 2.000

*Nota:* 250  $\mu\text{m}$  = 0,25 mm (milímetros).

El tamaño de la fibra se especifica en el formato «núcleo/revestimiento». Por tanto, una fibra 62,5/125 significa que la fibra tiene un diámetro del núcleo de 62,5  $\mu\text{m}$  y un diámetro del revestimiento de 125  $\mu\text{m}$ .

El recubrimiento envuelve el revestimiento y puede tener un diámetro de 250 o 500  $\mu\text{m}$ . Para la fabricación de un cable de estructura ajustada se utiliza una protección plástica de 900  $\mu\text{m}$  de diámetro que envuelve el recubrimiento. Para la construcción de un cable de estructura holgada, la fibra, con un recubrimiento de 250  $\mu\text{m}$ , permanece suelta en un tubo plástico de 2 a 3 milímetros (ver Capítulo 4).

#### I. Núcleo: 8 a 10/125 $\mu\text{m}$

Una fibra que tenga un tamaño de núcleo de 8 a 10/125  $\mu\text{m}$  se conoce como fibra monomodo. Puede propagar la mayor tasa de datos y tiene la atenuación más baja. Se utiliza frecuentemente para aplicaciones de transmisión de datos a alta velocidad o para largas distancias. Debido al pequeño diámetro de su núcleo, el equipamiento óptico utiliza conectores de alta precisión y fuentes láser. Esto aumenta los precios del

equipamiento. El equipamiento de las fibras monomodo cuesta a menudo mucho más que el equipamiento de las fibras multimodo. Sin embargo, un cable de fibras monomodo es más barato que un cable de fibras multimodo.

## II. Núcleo: 50/125 $\mu\text{m}$

La fibra cuyo tamaño de núcleo es 50/125  $\mu\text{m}$  fue la primera fibra de telecomunicaciones en venderse en grandes cantidades y es bastante corriente hoy en día. Su pequeña *apertura numérica* (AN, ver sección 3.2) y pequeño tamaño del núcleo hacen que la potencia de la fuente acoplada a la fibra sea la menor de todas las fibras multimodo. Sin embargo, de todas las fibras multimodo, es la que tiene el mayor ancho de banda potencial.

## III. Núcleo: 62,5/125 $\mu\text{m}$

La fibra de diámetros 62,5/125  $\mu\text{m}$  es, en el presente, la más popular para transmisión multimodo y se está convirtiendo en estándar para muchas aplicaciones. La fibra tiene un ancho de banda potencial menor que la fibra 50/125, pero es menos susceptible a las pérdidas por microcurvaturas. Su mayor AN y su mayor diámetro de núcleo proporcionan un acoplamiento de luz ligeramente mayor que la fibra 50/125.

## IV. Núcleo: 85/125 $\mu\text{m}$

La fibra 85/125  $\mu\text{m}$  es una fibra de tamaño europeo y no es popular en Norteamérica. Tiene una buena capacidad para acoplar luz, similar a la del núcleo de 100  $\mu\text{m}$ , y usa el revestimiento de diámetro estándar de 125  $\mu\text{m}$ . Esto permite la utilización de conectores y empalmes estándar de 125  $\mu\text{m}$  con esta fibra.

## V. Núcleo: 100/140 $\mu\text{m}$

El diámetro del núcleo mayor de la fibra multimodo 100/140  $\mu\text{m}$  la convierte en la fibra más fácil de conectar. Es menos sensible a las tolerancias del conector y a la acumulación de suciedad en los conectores. Acopla la mayor cantidad de luz de la fuente, pero tiene un ancho de banda potencial significativamente más bajo que otras de tamaños de núcleo más pequeños. Se puede encontrar en vanos de longitud intermedia y con muchos conectores (en edificios) que tienen requerimientos de baja velocidad de datos. No es muy común y puede ser muy difícil de obtener.

Hay otras fibras con diámetros de núcleo todavía mayores, pero son menos comunes y sus aplicaciones están limitadas. Se usan en primer lugar para vanos de conexión corta (entre equipamientos) o en otras aplicaciones diferentes a las comunicaciones de datos, como es la transmisión de luz visible.

Un resumen de los tamaños de los núcleos de fibra y de sus características se puede observar en la siguiente tabla:

**Características de la fibra óptica**

	Núcleo	AN	Pérdidas	Ancho de banda	Longitud de banda
I	8 a 10	La más pequeña	Las más bajas	El mayor	1.350 o 1.550
II	50	Más pequeña	Más bajas	Más grande	850 o 1.310
III	62.5	Media	Bajas	Medio	850 o 1.310
IV	85	Grande	Altas	Más pequeño	850 o 1.310
V	100	La más grande	Más altas	El más pequeño	850 o 1.310

**Emparejado de fibras ópticas**

Cuando se emparejan las fibras ópticas para hacer un empalme o conexión, los diámetros de los núcleos deben ser del mismo tamaño. Una fibra multimodo 62.5/125  $\mu\text{m}$  debería empalmarse únicamente con otra fibra multimodo 62.5/125  $\mu\text{m}$ . Las fibras monomodo no se pueden conectar o empalmar a fibras multimodo. Cuando se empalman fibras monomodo, se utiliza para unir las fibras el *diámetro del campo modal*, en vez del diámetro del núcleo.

Las fibras multimodo y monomodo no se pueden mezclar o intercambiar. El equipamiento diseñado para fibras monomodo sólo se puede conectar a fibras monomodo. El equipamiento diseñado para fibras multimodo se puede conectar sólo a fibras multimodo.

Se deberían revisar cuidadosamente las especificaciones del equipamiento de fibras ópticas para determinar el diámetro adecuado de la fibra óptica. En el equipamiento se puede especificar una fibra de un diámetro determinado, o una lista de tamaños diferentes que pueden ser usados con el equipamiento.

Debido a que diámetros de núcleo mayores son capaces de acoplar mayor potencia de luz, para algunas aplicaciones se pueden lograr mayores distancias de transmisión cuando se utilizan fibras de diámetros de núcleos mayores (sólo para fibras multimodo).

La tabla siguiente ilustra cómo aumenta la longitud del cable cuando aumenta el diámetro del núcleo (aunque esto ocurre sólo para ciertos equipos). Incluso, aunque aumenta la atenuación de la fibra óptica con un incremento del diámetro del núcleo, se acopla más luz debido a su mayor diámetro de núcleo, y la longitud de transmisión de la fibra aumenta. Se dispone de cartas similares para ciertos equipamientos ópticos\*.

Tamaño de la fibra ( $\mu\text{m}$ )	Atenuación de la fibra (dB/km)	AN	Longitud del cable (km)
50/125	4.0	0.20	0.2
50/125	3.0	0.20	0.27
50/125	2.7	0.20	0.3
62.5/125	4.0	0.29	1.3
62.5/125	3.7	0.29	1.5
100/140	5	0.29	1.5
100/140	4	0.29	1.8

\* *Nota del traductor:* Denominaremos como equipamiento óptico el asociado a las comunicaciones por fibra óptica.

Siempre que se quieran utilizar fibras ópticas que no hayan sido recomendadas para el equipamiento, deberá consultarse al fabricante del equipo.

### 3.2. TRANSMISIÓN DE LUZ EN UNA FIBRA

Cuando un rayo de luz se propaga sin obstáculos por un medio como el aire o el vidrio, viaja en línea recta. Sin embargo, cuando un rayo de luz viaja de un medio a otro, se dobla en la frontera que separa ambos medios. A esta torcedura se le denomina *refracción*. El ángulo con el cual se refracta se denomina *ángulo de refracción*. El ángulo con el cual el rayo de luz choca con la frontera del medio se denomina *ángulo de incidencia*.

El ángulo de incidencia está relacionado matemáticamente con el ángulo de refracción de acuerdo con la ley de Snell.

#### Ley de Snell

$$n_1 \times \text{sen } a = n_2 \times \text{sen } b$$

donde  $n_1$  = índice de refracción del primer material

$n_2$  = índice de refracción del segundo material

$a$  = ángulo de incidencia en el primer material

$b$  = ángulo de refracción en el segundo material

La refracción de un rayo de luz ocurre en un extremo de la fibra cuando el rayo pasa del aire al medio que conforma el núcleo de la fibra. Los ángulos de refracción y de incidencia se miden respecto al eje perpendicular a la superficie de separación aire-fibra. Para una fibra cortada apropiadamente, este eje es el mismo que el eje de la fibra (ver Fig. 3.2). *El corte de una fibra óptica* es el proceso de seccionar una fibra óptica, de tal manera que produzca una superficie final plana y suave que sea perpendicular al eje de la fibra. Esto asegura que sea máxima la cantidad de luz que pueda propagarse por una fibra.

Sólo los rayos de luz que inciden en la superficie aire-fibra con ángulos menores que el *máximo ángulo de acoplamiento*\* son refractados al núcleo de la fibra y capturados por ella. Los rayos de luz incidentes en la frontera aire-fibra con ángulos mayores que el máximo ángulo de acoplamiento no son capturados por la fibra (ver Fig. 3.3).

La *apertura numérica* de la fibra (AN) está relacionada matemáticamente con el máximo ángulo de acoplamiento.

#### Apertura numérica (AN)

$$AN = \text{sen } \overset{\circ}{\theta} \text{ (ángulo máximo de acoplamiento)}$$

$$AN = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

donde AN = apertura numérica de la fibra

$n_1$  = índice de refracción del núcleo

$n_2$  = índice de refracción del revestimiento

\* *Nota del traductor:* Algunos autores denominan a éste ángulo de aceptación.

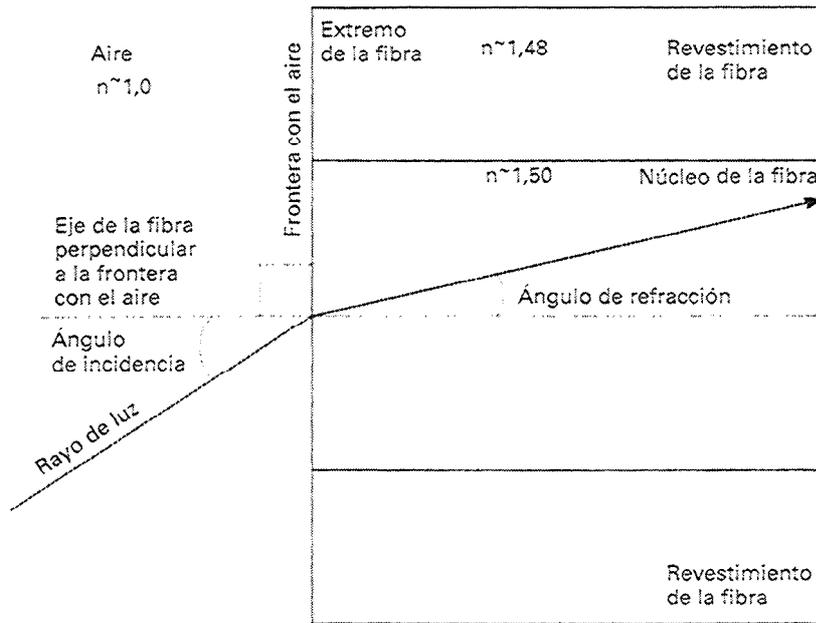


FIGURA 3.2. Refracción en una fibra óptica.

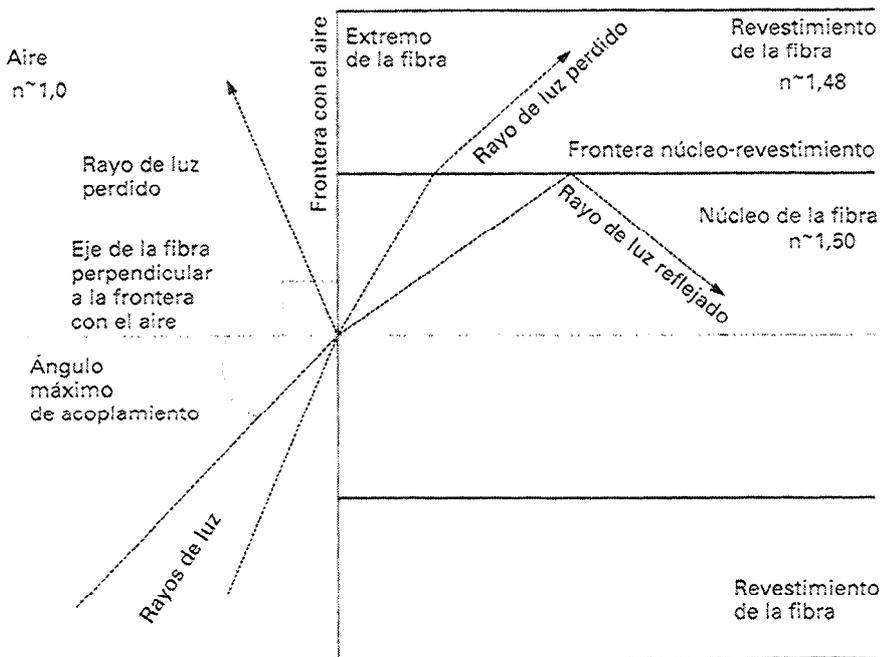


FIGURA 3.3. Máximo ángulo de acoplamiento.

Ángulos máximos de acoplamiento típicos para una fibra multimodo varían desde 10 a 30 grados. Valores típicos de AN varían desde 0,2 a 0,5. Normalmente se especifica el valor de AN para una fibra óptica.

Cuando un rayo de luz pasa a través de la superficie de separación entre dos medios, desde un medio con un índice de refracción alto a un medio con un índice de refracción más bajo, el rayo se refracta en la superficie al pasar al segundo medio. A medida que aumenta el ángulo de incidencia del rayo de luz, se alcanza un punto en el cual ya no se refracta más el rayo de luz en el segundo medio y es completamente reflejado de vuelta al primer medio. Esto se denomina *reflexión total interna*, y el ángulo para el cual esto ocurre se denomina *ángulo crítico* (ver Fig. 3.4). El ángulo crítico se puede determinar con la siguiente fórmula:

**Ángulo crítico**

Ángulo crítico =  $\arcsen(n_2 - n_1)$   
 donde  $n_1$  = índice de refracción del primer material  
 $n_2$  = índice de refracción del segundo material

La reflexión total interna sólo ocurre cuando la luz atraviesa la frontera desde un medio con un índice de refracción alto a un medio con un índice de refracción más bajo. Este fenómeno ocurre en la superficie de separación entre el revestimiento y el

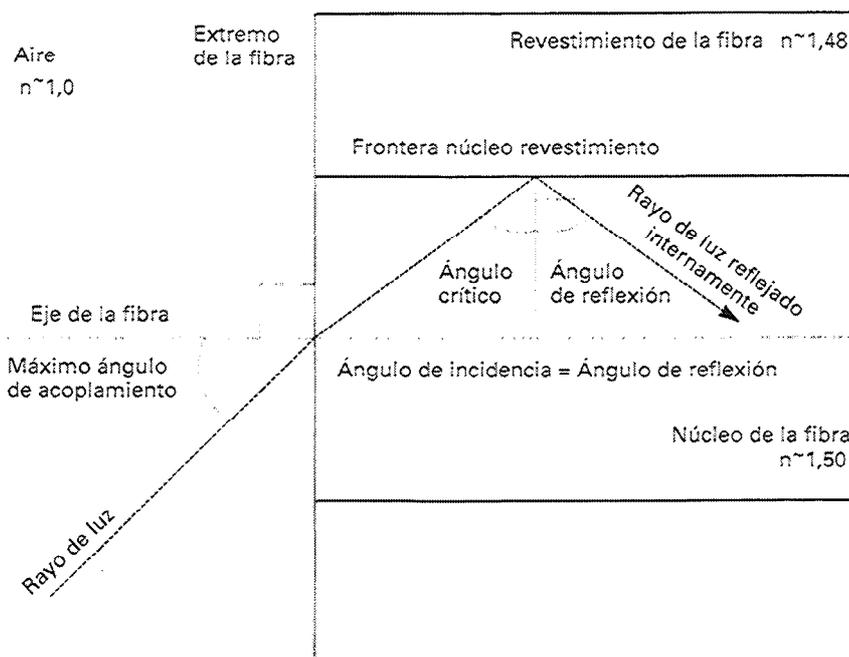


FIGURA 3.4. Reflexión total interna.

núcleo de una fibra multimodo y es el responsable del confinamiento de la luz en el núcleo de la fibra.

Los rayos de luz que entran en el núcleo de una fibra multimodo con ángulos menores que el máximo ángulo de acoplamiento chocan con la frontera revestimiento-núcleo formando ángulos mayores que el ángulo crítico. Por tanto, son totalmente reflejados de vuelta al núcleo y viajan hasta la nueva frontera recubrimiento-núcleo para ser reflejados de nuevo. El ángulo de reflexión de un rayo de luz es igual al ángulo de incidencia en la frontera. Siempre y cuando la fibra se mantenga recta, ocurrirá la reflexión total interna y todos los rayos de luz se propagarán por la fibra. Si la fibra se dobla, el ángulo de incidencia decrece en el doblado. Una fracción de los rayos de luz disminuirá su ángulo de incidencia pasando el ángulo crítico y serán refractados al revestimiento y perdidos.

Los fabricantes de fibra especifican el radio de curvatura mínimo para que estemos seguros de que la fibra no pierde una fracción de potencia apreciable en el doblado. Este radio debería respetarse en todo momento para asegurar las mínimas pérdidas de luz y para prevenir el deterioro de la fibra.

### 3.3. FIBRA MULTIMODO

Una fibra multimodo es una fibra que puede propagar más de un *modo* de luz. El número máximo de modos de luz (camino para los rayos de luz) que pueden existir en el núcleo de una fibra se puede determinar matemáticamente por la siguiente expresión:

#### Número de modos en una fibra óptica

$$M = 1 + 2D (n_1^2 - n_2^2)^{0.5} / \lambda$$

donde  $D$  = diámetro del núcleo

$n_1$  = índice de refracción del núcleo

$n_2$  = índice de refracción del revestimiento

$\lambda$  = longitud de onda de la luz

Para una fibra multimodo el número de modos pueden ser fácilmente superior a mil. El número de modos que existen realmente depende de otras características de la fibra y se puede reducir durante la propagación.

Una fibra multimodo se usa comúnmente en aplicaciones de comunicación de corta distancia (generalmente menos de unos pocos kilómetros). La electrónica del equipo terminal es más barata y es, de ordinario, simple de diseñar. Como fuente de luz se usa normalmente un LED. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Existen dos tipos de fibra multimodo: la fibra de *índice escalón* y la fibra de *índice gradual*. Difieren en los perfiles del índice de refracción de su núcleo y revestimiento.

### Fibra de índice escalón

Una fibra de índice escalón es una fibra óptica con índices de refracción del núcleo y del revestimiento diferentes, pero uniformes. En la frontera núcleo-revestimiento hay un cambio abrupto en el índice de refracción. El confinamiento de la luz en cualquier fibra de índice escalón se debe a las propiedades de reflexión en la frontera núcleo-revestimiento. Su origen está en la diferencia de los índices de refracción de los dos materiales. Como muestra la Figura 3.5, los rayos de luz se reflejan en esta frontera y se propagan a lo largo de la fibra.

Los rayos de luz viajan por caminos muy diferentes en el núcleo de la fibra. Debido a que la distancia que viaja cada rayo debe diferir, llegarán a su destino en tiempos diferentes. Esto trae como consecuencia que un pulso transmitido se ensanche en el tiempo.

Como muestra la Figura 3.6, los rayos de luz  $d_1$ ,  $d_2$ , y  $d_3$  empiezan al mismo tiempo  $t$ , pero después de viajar por la fibra llegan a sus destinos en tiempos diferentes, debido a que siguen diferentes caminos de propagación en el núcleo de la fibra. Como se predijo, esto da como resultado un esparcimiento del pulso en el tiempo. Esta distorsión de la señal se conoce como *dispersión modal* (o *multimodo*).

Tal ensanchamiento del pulso restringe la velocidad de transmisión de datos debido a que ésta es inversamente proporcional a la anchura del pulso. Un pulso más ancho significa que se pueden enviar menos pulsos por segundo, lo que resulta en una disminución del ancho de banda de transmisión.

Este es el factor principal que limita la velocidad de transmisión de datos en una fibra multimodo:

$$\text{velocidad de transmisión de datos} \propto 1/\text{anchura del pulso.}$$

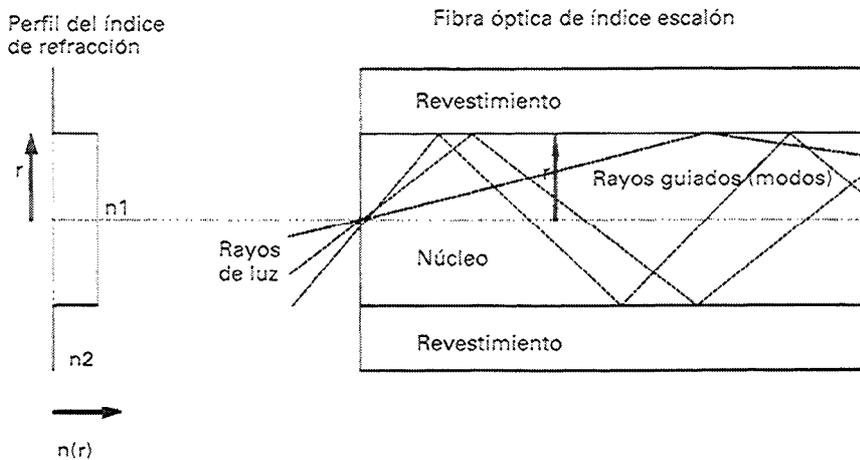


FIGURA 3.5. Propagación de la luz en una fibra óptica de índice escalón.

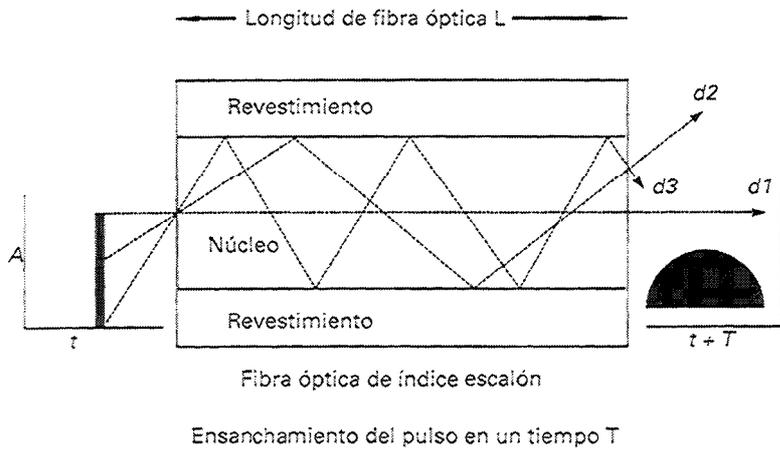


FIGURA 3.6. Dispersión de una fibra multimodo de índice escalón.

### Fibra de índice gradual

El índice de refracción del núcleo de una fibra de índice gradual decrece desde el centro hasta el exterior. El índice de refracción del revestimiento es uniforme. La fibra de índice gradual curva los rayos de luz en caminos sinuosos, debido a que el índice de refracción del núcleo no es uniforme (ver Fig. 3.7). La región exterior del núcleo tiene un índice de refracción más bajo que el centro. La luz viaja más rápido en un material con índice de refracción más bajo (velocidad de la luz =  $c/n$ ). Los rayos de luz de

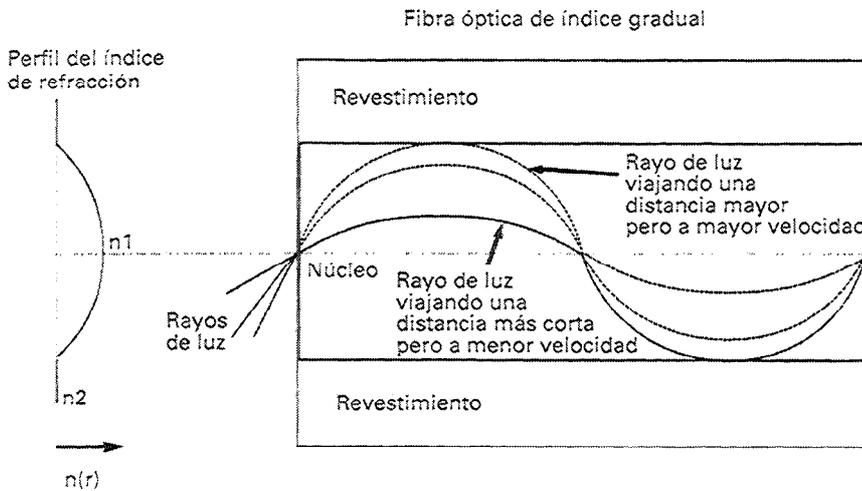


FIGURA 3.7. Propagación de la luz en una fibra de índice gradual.

la región exterior del núcleo viajan una distancia mayor y requieren más tiempo para llegar al final de la fibra. Sin embargo, debido a que la luz viaja más rápido en la región exterior que en el centro del núcleo, el mayor tiempo causado por la distancia se compensa parcialmente por una mayor velocidad del rayo. Esto reduce la cantidad de ensanchamiento del pulso entre los rayos de luz del centro del núcleo y de la región exterior, por lo que se reduce la dispersión modal. Es por dicho motivo que este tipo de fibra tiene un ancho de banda de transmisión de datos mayor que una fibra de índice escalón.

### 3.4. FIBRA MONOMODO

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz (un camino para los rayos de luz por el centro de la fibra; ver Fig. 3.8). Esto se logra reduciendo del diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño que sólo permite un modo de propagación. El tamaño del núcleo de la fibra monomodo está comprendido entre 8 y 10  $\mu\text{m}$ .

El perfil del índice de refracción de una fibra monomodo es similar al de una fibra multimodo de índice escalón. Debido al pequeño tamaño del núcleo, es muy difícil acoplar luz a la fibra. Para lograr este objetivo se usa frecuentemente un láser de estado sólido. Para todas las conexiones y empalmes de la fibra, se deben utilizar componentes de precisión mayor.

Puesto que se propaga por la fibra un único modo, se elimina el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal. Esto permite velocidades de transmisión de datos mucho mayores sobre distancias más largas. Velocidades de transmisión por encima de 2 Gbps son bastante frecuentes con fibras monomodo. Las compañías telefónicas son algunos de los principales usuarios de esta tecnología, para el tráfico de largas distancias.

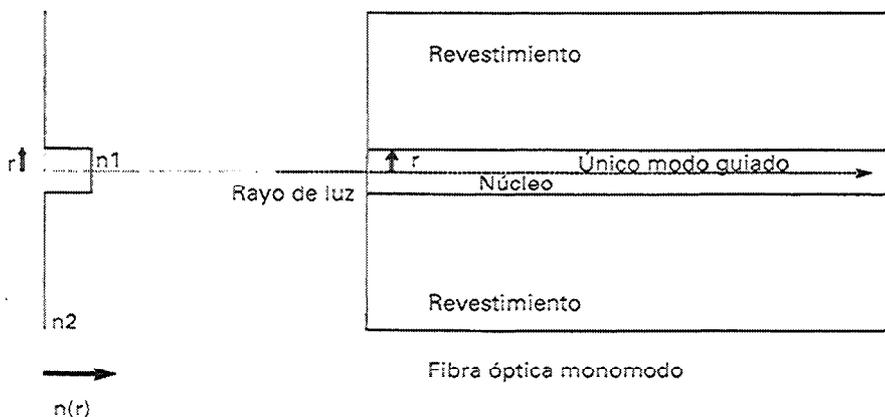


FIGURA 3.8. Propagación de la luz en una fibra monomodo.



### 3.5. PÉRDIDAS DE POTENCIA ÓPTICA (ATENUACIÓN)

La luz que viaja en una fibra óptica pierde potencia con la distancia. Las pérdidas de potencia dependen de la longitud de onda de la luz y del material por el que se propaga. Para el sílice, las longitudes de onda más cortas son las que más se atenúan (ver Fig. 3.10). Las pérdidas más bajas se encuentran para una longitud de onda de 1.550 nm, que se usa frecuentemente para transmisiones de larga distancia.

Las pérdidas de potencia de luz en una fibra óptica se miden en *decibelios* (dB). Las especificaciones de un cable de fibra óptica expresan las pérdidas del cable como la atenuación en dB para un km de longitud (dB/km). Este valor se debe multiplicar por la longitud total de la fibra óptica en kilómetros para determinar las pérdidas del cable en dB\*.

Las pérdidas de luz de una fibra óptica están causadas por varios factores y se pueden clasificar en pérdidas *intrínsecas* y *extrínsecas*:

#### Extrínsecas

- Pérdidas por curvatura
- Pérdidas por conexión y empalme

#### Intrínsecas

- Pérdidas inherentes a la fibra
- Pérdidas que resultan de la fabricación de la fibra
- Reflexión de Fresnel

#### Pérdidas por curvatura

De alguna manera, las pérdidas por curvatura ocurren en todas las curvas de una fibra óptica debido al cambio del ángulo de incidencia en la frontera núcleo-revestimiento (ver sección 3.2 y Fig. 3.9). Si el radio de curvatura es mayor que el radio de curvatura mínimo de la fibra, las pérdidas son despreciables y, por tanto, ignoradas.

Las pérdidas por curvatura también pueden ocurrir a una escala más pequeña. Curvas pronunciadas del núcleo de una fibra con desplazamientos de unos pocos milímetros o menos, causadas por la protección exterior de la fibra, la fabricación, el procedimiento de instalación, etc., pueden causar también pérdidas de potencia. Estas pérdidas se denominan pérdidas por *microcurvaturas* y pueden ser significativas para grandes distancias.

#### Pérdidas por conexión y empalme

Las pérdidas por empalme ocurren en todos los empalmes. Los empalmes mecánicos tienen generalmente las mayores pérdidas, a menudo en el rango que va desde 0,2 dB a 1,0 dB, dependiendo del tipo de empalme. Los empalmes por fusión tienen unas pér-

\* Nota de traductor: Por ejemplo, una pérdida de 3 dB equivale a perder la mitad de la potencia.

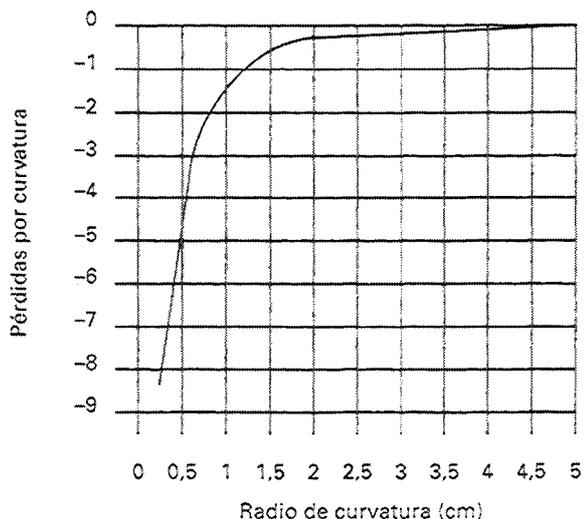


FIGURA 3.9. Pérdidas por curvatura de una fibra óptica multimodo (típicas).

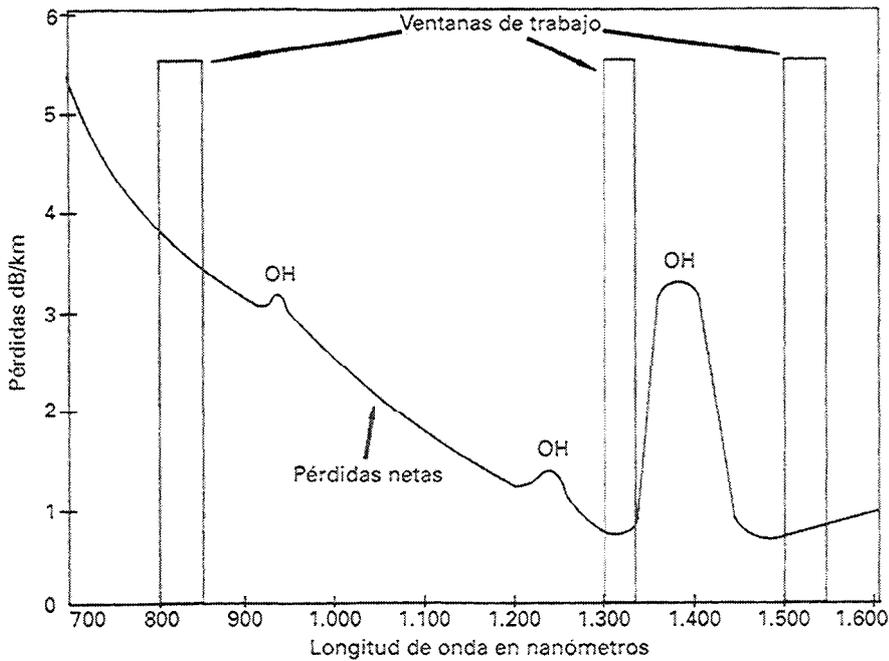
didadas más bajas, generalmente menores que 0,2 dB. Con un buen equipamiento se consiguen normalmente unas pérdidas de 0,07 dB. Las pérdidas se pueden atribuir a un gran número de factores, incluyendo un mal corte, el desalineamiento de los núcleos de las fibras, burbujas de aire, contaminación, desadaptación del índice de refracción, desadaptación del diámetro del núcleo, etc.

Las pérdidas de los conectores de fibra óptica están frecuentemente en el rango que va desde 0,3 dB a 1,5 dB, y dependen en gran medida del tipo de conector usado. Otros factores que contribuyen a las pérdidas por conexión incluyen la suciedad o los contaminantes en el conector, la instalación impropia del conector, una cara dañada del conector, un corte pobre, desadaptación de los núcleos de las fibras, desalineamiento de los núcleos de las fibras, desadaptación del índice de refracción, etc.

### Pérdidas inherentes a la fibra

Las pérdidas de luz en una fibra que no se pueden eliminar durante el proceso de fabricación se deben a las impurezas en el vidrio y a la absorción de la luz a nivel molecular. Las pérdidas de luz debidas a las variaciones en la densidad óptica, composición y estructura molecular se denominan *dispersión de Rayleigh*. Los rayos de luz que encuentran estas variaciones e impurezas se dispersan en muchas direcciones y se pierden.

La absorción de la luz a nivel molecular en una fibra se debe principalmente a los contaminantes en el vidrio, tales como las moléculas de agua ( $\text{OH}^-$ ). La difusión de las moléculas de  $\text{OH}^-$  dentro de una fibra óptica es uno de los factores fundamentales que contribuye al incremento de la atenuación de la fibra cuando ésta envejece. También contribuye a las pérdidas de luz la absorción debida a la resonancia molecular del vidrio de sílice ( $\text{SiO}_2$ ).



**FIGURA 3.10.** Longitudes de onda operativas de una fibra óptica.

La Figura 3.10 muestra la atenuación neta de una fibra de vidrio de sílice y las tres ventanas de operación a 850, 1.310 y 1.550 nm. Para transmisiones a larga distancia se utilizan las ventanas de 1.310 o 1.550 nm. La ventana de 1.550 nm tiene una atenuación ligeramente menor que la de 1.310 nm. La comunicación a 850 nm es frecuente en instalaciones de distancias más cortas y de coste más bajo.

### **Pérdidas resultantes de la fabricación de la fibra**

Las irregularidades durante el proceso de fabricación pueden dar lugar a pérdidas de rayos luminosos. Por ejemplo, un cambio de 0,1 por 100 en el diámetro del núcleo puede significar unas pérdidas de 10 dB por km. Se debe mantener la tolerancia en la precisión durante todo el proceso de fabricación de la fibra para minimizar las pérdidas.

### **Reflexión de Fresnel**

La *reflexión de Fresnel* ocurre en cualquier frontera de un medio donde cambie el índice de refracción, causando que una parte de los rayos incidentes sean reflejados al primer medio. El extremo de una fibra es un buen ejemplo de este hecho. La luz, que viaja del aire al núcleo de la fibra, es refractada al núcleo. Sin embargo, parte de la

luz, alrededor del 4 por 100, es reflejada de vuelta al aire. La cantidad que se refleja se puede calcular usando la siguiente fórmula:

**Potencia de luz reflejada en la frontera**

$$\text{Luz reflejada (\%)} = 100 \times (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$$

donde  $n_1$  = índice de refracción del núcleo  
 $n_2$  = índice de refracción del aire

En un conector de fibra la cantidad de potencia luminosa reflejada se sitúa alrededor del 8 por 100 en la frontera de los medios de aire-vidrio. Esto se puede ver fácilmente en la traza de un *reflectómetro óptico en el dominio del tiempo* (OTDR\*) (ver Fig. 13.2). Las pérdidas de luz están generalmente en el rango que va desde 0,1 a 0,7 dB. Esta luz reflejada puede ocasionar problemas si se utiliza un láser y debería minimizarse (ver sección 12.5).

Se puede reducir la potencia de luz reflejada usando mejores conectores. Los conectores conocidos como «PC» (*physical contact*) están diseñados para minimizar esta reflexión.

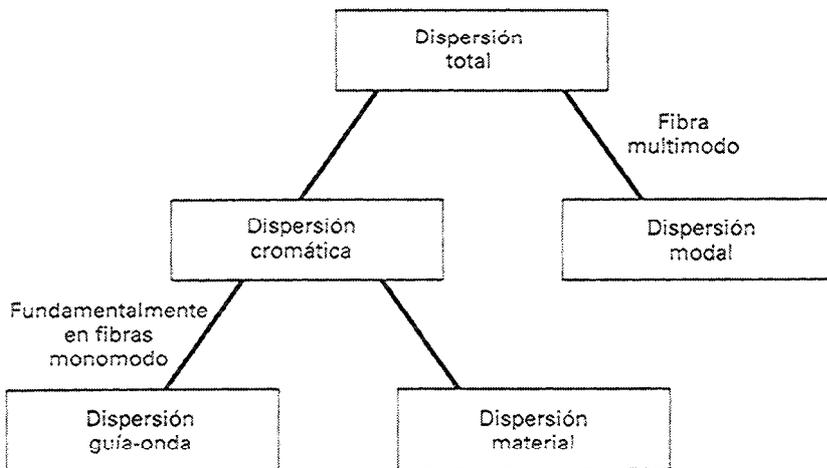
### 3.6. ANCHO DE BANDA DE LA FIBRA

El *ancho de banda* de una fibra óptica es una medida de su capacidad de transmisión de información. El ancho de banda de una fibra óptica está limitado por la *dispersión total* de la fibra (ensanchamiento del pulso). La dispersión limita la capacidad de transmisión de información porque los pulsos se distorsionan y se ensanchan, solapándose unos con otros y haciéndose indistinguibles para el equipo receptor. Para evitar que esto ocurra, los pulsos se deben transmitir a una frecuencia menor (reduciendo por tanto la velocidad de la transmisión de datos).

Como muestra la Figura 3.11a, los pulsos originales de datos ópticos son discretos —unos y ceros que pueden ser fácilmente identificados—. Después de que la señal se ha propagado una cierta distancia a lo largo de la fibra óptica (Fig. 3.11b), tiene lugar la dispersión. Los pulsos se ensanchan pero pueden ser todavía decodificados por el equipo receptor. Dispersión adicional puede introducir errores en la transmisión. Tras una propagación aún mayor por la fibra, la señal se distorsiona totalmente y el equipo receptor no puede derivar la forma de onda original. La transmisión de datos no es posible. Además, a medida que aumenta la dispersión, la potencia del pico de la señal óptica se reduce, lo cual afecta al presupuesto óptico del receptor (ver sección 12.6). La dispersión es una función de la longitud de la fibra óptica; cuanto mayor sea la fibra, más pronunciado será el efecto. Mientras la dispersión de la fibra óptica esté dentro de las especificaciones del equipamiento, los errores en la transmisión de datos por fibra óptica podrán mantenerse dentro de las especificaciones.

\* *Nota del traductor:* Dicho equipo se conoce por su acrónimo en inglés.

La dispersión total se puede dividir en dos categorías: dispersión cromática y dispersión modal (también llamada dispersión multimodo). La dispersión cromática puede ser posteriormente subdividida en dispersión guía-onda y dispersión material, como se representa aquí gráficamente:



### Dispersión modal

La *dispersión modal*, también conocida como *dispersión multimodo*, afecta sólo a la fibra multimodo y está causada por los diferentes caminos o modos que sigue un rayo de luz en la fibra (ver Fig. 3.6). Esto da como resultado que los rayos recorran distancias diferentes y lleguen al otro extremo de la fibra en tiempos diferentes. Un pul-

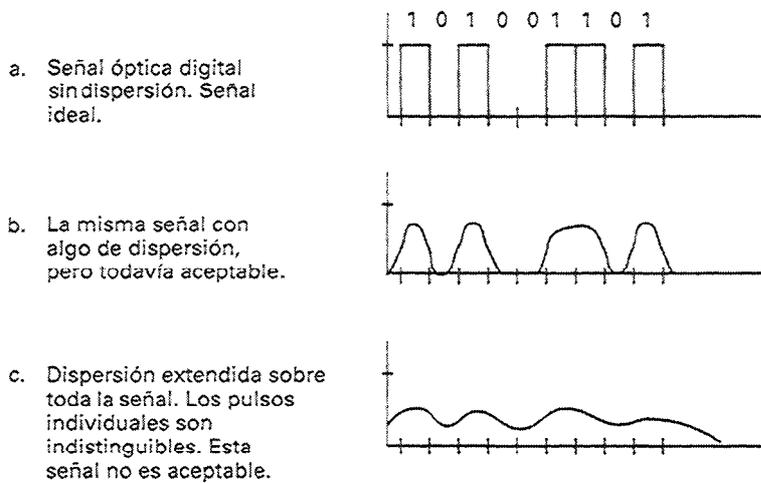


FIGURA 3.11. Dispersión de la señal.

so transmitido se ensanchará debido a este efecto y reducirá en consecuencia la máxima velocidad de transmisión efectiva de datos.

Una fibra de índice escalón tiene la dispersión modal más alta y por tanto el ancho de banda más bajo. Debido al perfil no uniforme del índice de refracción de una fibra de índice gradual, la dispersión modal decrece. Esto redundará en una transmisión de datos mayor que con una fibra de índice escalón.

### Dispersión cromática material

La dispersión cromática material ocurre porque el índice de refracción de una fibra varía con la longitud de onda de la luz en la fibra. Debido a que la fuente de luz está compuesta de un espectro de más de una longitud de onda, los rayos de luz de diferente longitud de onda viajan a diferentes velocidades ( $v = c/n$ ), dando como resultado un ensanchamiento del pulso.

### Dispersión cromática guía-onda

La dispersión cromática guía-onda es debida a la anchura espectral de la fuente de luz, cuando el índice de refracción permanece constante. La razón de esto es que la geometría de la fibra causa que la constante de propagación de cada modo cambie con la longitud de onda de la luz. La dispersión guía-onda es despreciable, excepto cerca del cero de la dispersión material.

### Ancho de banda total

El ancho de banda total de una fibra multimodo está especificado por el fabricante en la forma del producto de la distancia por el ancho de banda modal normalizado «Megahercio  $\times$  kilómetro» (MHz  $\times$  km). Este producto del ancho de banda da cuenta sólo del ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal (o multimodo). Para determinar el ancho de banda total de una fibra óptica deben ser también considerados los efectos de la dispersión cromática.

El ancho de banda total de una fibra multimodo se puede calcular como sigue:

$$B_{\text{Total}} = (B_{\text{Modal}}^{-2} + B_{\text{Cromática}}^{-2})^{-1/2}$$

El ancho de banda de una fibra monomodo está limitado únicamente por la dispersión cromática de la fibra, que se especifica en la forma picosegundos/(nanómetro  $\times$  kilómetro) o (ps/nm  $\times$  km). Hay disponibles fibras monomodo convencionales a longitudes de onda de 1.310 nm con dispersión casi nula (como consecuencia de esto soportan anchos de banda muy elevados). También hay fibras ópticas con dispersión casi nula a 1.550 nm que se conocen como fibras de *dispersión desplazada*. Hay también disponibles fibras ópticas con dispersión casi nula tanto a 1.310 como a 1.550 nm y que se conocen como *fibras de dispersión plana*. Para operar a la velocidad de transmisión de datos más alta, la fibra monomodo debería tener dispersión nula a la longitud de onda de operación del equipo.

### 3.7. **ESPECIFICACIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA: UN EJEMPLO**

Lo que sigue es un ejemplo de una hoja de especificaciones de una fibra óptica típica de un fabricante de fibras:

Especificación		Explicación
Diámetro del núcleo:	62.5 $\mu\text{m}$	Diámetro del núcleo de una fibra multimodo
Diámetro del revestimiento:	125 $\mu\text{m}$	No incluye el recubrimiento
Diámetro de recubrimiento:	250 $\mu\text{m}$	Recubrimiento de plástico coloreado
Diámetro del campo modal:		Este valor sólo se usa para fibras monomodo
<i>Máxima atenuación a:</i>		
850 nm:	3.5 dB/km	Pérdidas máximas por kilómetro
1.310 nm:	1.0 dB/km	Menor atenuación a mayores longitudes de onda
<i>Ancho de banda:</i>		
850 nm:	160 MHz $\times$ km	Especificación del ancho de banda modal de una fibra óptica multimodo a 850 nm
1.310 nm:	500 MHz $\times$ km	Especificación del ancho de banda modal de una fibra óptica multimodo a 1.310 nm
Dispersión cromática:	0.1 ns/nm $\times$ km	Este factor también limita el ancho de banda de una fibra multimodo
Longitud de onda de corte:		La longitud de onda más corta que se propaga en una fibra (sólo para fibras monomodo)
Fabricante de la fibra:	Compañía XYZ	Nombre del fabricante de la fibra óptica (no el mismo que el fabricante del cable de fibra)

# Capítulo 4

## COMPOSICIÓN DEL CABLE

---

Un cable de fibra óptica se encuentra disponible en dos construcciones básicas: cable de *estructura holgada* y cable de *estructura ajustada*.

### 4.1. CABLE DE ESTRUCTURA HOLGADA

---

Un cable de fibra óptica de estructura holgada consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora (ver Fig. 4.1). El rasgo distintivo de este tipo de cable son los tubos de fibra. Cada tubo, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él. Los tubos pueden ser huecos o, más comúnmente, estar llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable (ver Fig. 4.2).

Las fibras dentro del tubo son ligeramente más largas que el propio cable, por lo que el cable se puede elongar bajo cargas de tensión, sin aplicar tensión a la fibra. Para determinar de una forma más precisa la longitud del cable debería tenerse en cuenta, en una prueba OTDR, este exceso en la longitud de la fibra (la longitud en exceso de la fibra viene dada por el fabricante).

Cada tubo está coloreado, o numerado, y cada fibra individual en el tubo, además, está coloreada para hacer más fácil la identificación. El número de fibras que lleva cada cable varía desde unas pocas a 200.

El centro del cable contiene un elemento de refuerzo, que puede ser acero, Kevlar\* o un material similar. Este miembro proporciona al cable refuerzo y soporte durante las operaciones de tendido, así como en las posiciones de instalación perma-

---

\* *Nota del traductor:* El Kevlar es una marca registrada de DuPont.

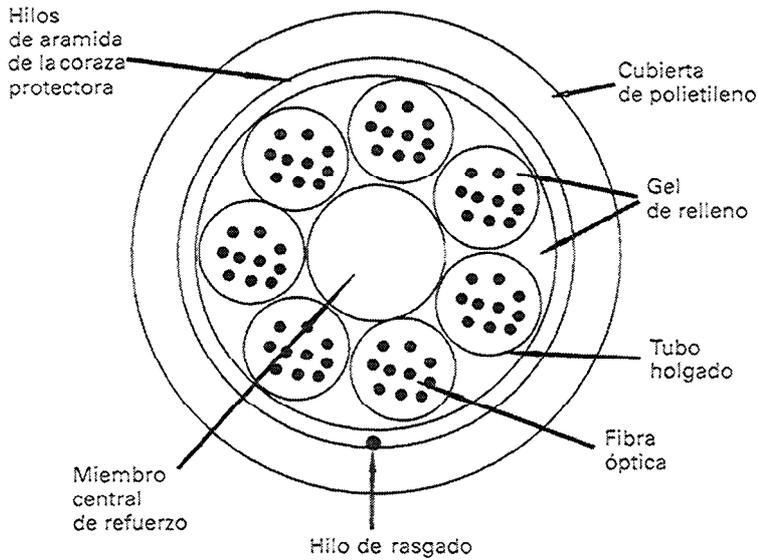


FIGURA 4.1. Cable de tubo holgado.

nente. Debería amarrarse siempre con seguridad a la polea de tendido durante las operaciones de tendido del cable, y a los anclajes apropiados que hay en cajas de empalmes o paneles de conexión.

La cubierta o protección exterior del cable se puede hacer, entre otros materiales, de polietileno, de armadura o coraza de acero, goma o hilo de aramida, y para aplicaciones tanto exteriores como interiores. Con objeto de localizar los fallos con el OTDR de una manera más fácil y precisa, la cubierta está secuencialmente numerada cada metro (o cada pie) por el fabricante. La tensión de tendido y el radio de curvatura de los cables de fibra óptica varían, por lo que deberían consultarse las especificaciones del fabricante para conocer, en particular, los detalles de cada cable.

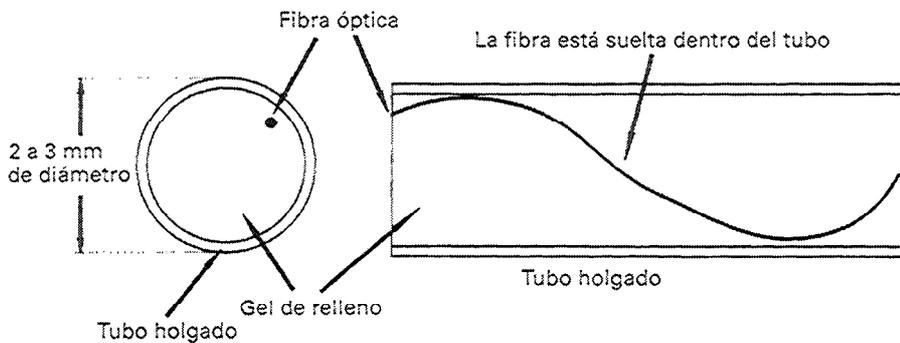


FIGURA 4.2. Tubo holgado de cable de fibra óptica.

Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, en tubos o conductos y en instalaciones directamente enterradas. El cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan. Deberían consultarse las especificaciones del fabricante para determinar, en cualquier instalación, el recorrido vertical máximo del cable. Estos cables están normalmente terminados en un panel de conexión apropiado o en una caja de empalmes (ver sección 10.6).

## 4.2. CABLE DE ESTRUCTURA AJUSTADA

Un cable de fibras ópticas de estructura ajustada contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, y todo ello cubierto de una protección exterior (ver Fig. 4.3). La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de 900  $\mu\text{m}$  de diámetro que rodea al recubrimiento de 250  $\mu\text{m}$  de la fibra óptica (ver Fig. 4.4).

La protección secundaria proporciona a cada fibra individual una protección adicional frente al entorno así como un soporte físico. Esto permite a la fibra ser conectada directamente (conector instalado directamente en el cable de la fibra), sin la protección que ofrece una bandeja de empalmes. Para algunas instalaciones esto puede reducir el coste de la instalación y disminuir el número de empalmes en un tendido de fibra. Debido al diseño ajustado del cable, es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción y puede ver incrementadas las pérdidas por microcurvaturas.

Por una parte, un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada. En primer

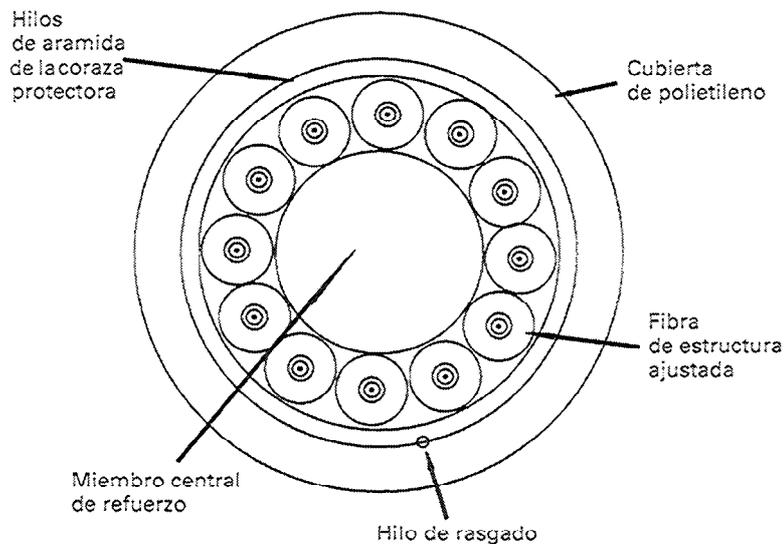


FIGURA 4.3. Cable de estructura ajustada.



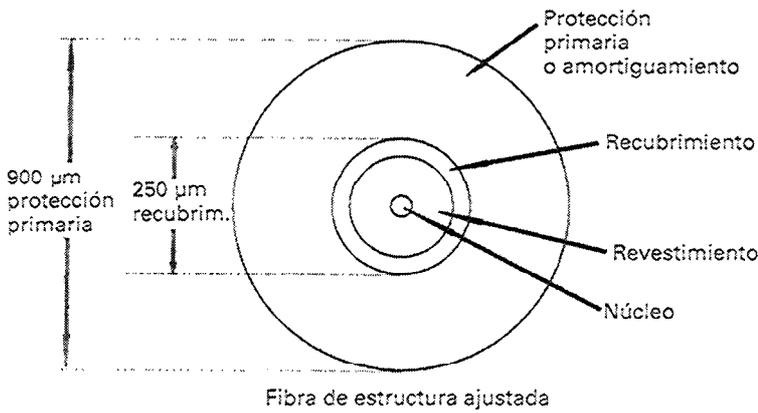


FIGURA 4.4. Cable de fibra óptica de estructura ajustada.

lugar, es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios. También se puede instalar en tendidos verticales más elevados que los cables de estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra. Hay disponibles cables con varias graduaciones de piroresistencia para cumplir los requerimientos estándar de inflamabilidad o combustibilidad. Es de diámetro mayor y generalmente más caro que un cable similar de estructura holgada con el mismo número de fibras.

### 4.3. CABLE DE FIGURA EN 8

El cable de figura en 8 es un cable de estructura holgada con un cable fiador adosado. El cable fiador es el miembro soporte que se utiliza en las instalaciones aéreas. Es generalmente un cable de acero para alta tracción con un diámetro comprendido entre 1/4 y 5/8 de pulgada. El cable de figura en 8 se denomina así porque su sección transversal se asemeja al número 8 (ver Fig. 4.5). Se usa en instalaciones aéreas y elimina la necesidad de atar el cable a un fiador preinstalado. Con un cable de figura en 8 la instalación aérea de un cable de fibra óptica es mucho más rápida y fácil.

El fiador se encuentra disponible en acero para alta tracción, o en un material completamente dieléctrico. Deberá considerarse la utilización del fiador dieléctrico cuando el cable se instale cerca de las líneas de alta tensión.

### 4.4. CABLE BLINDADO

Los cables blindados tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno (ver Fig. 4.6). Esto proporciona al cable una resistencia excelente al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. El cable se encuentra disponible generalmente en estructura holgada aunque también hay cables de estructura ajustada.

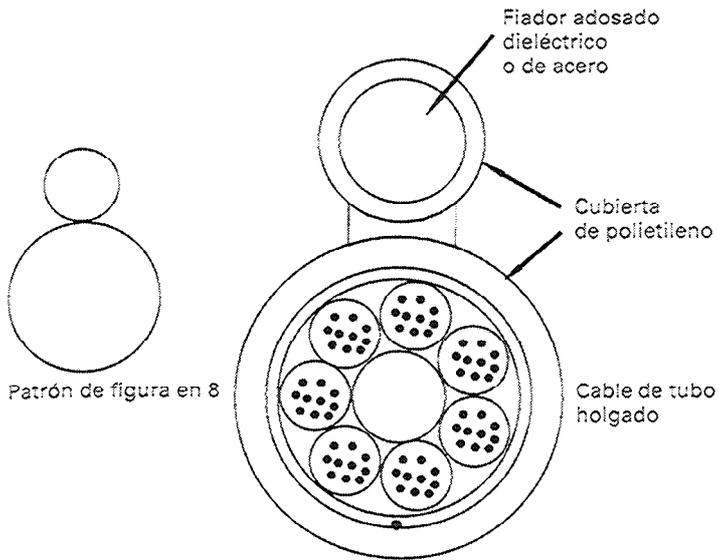


FIGURA 4.5. Cable de fibra óptica de figura en 8.

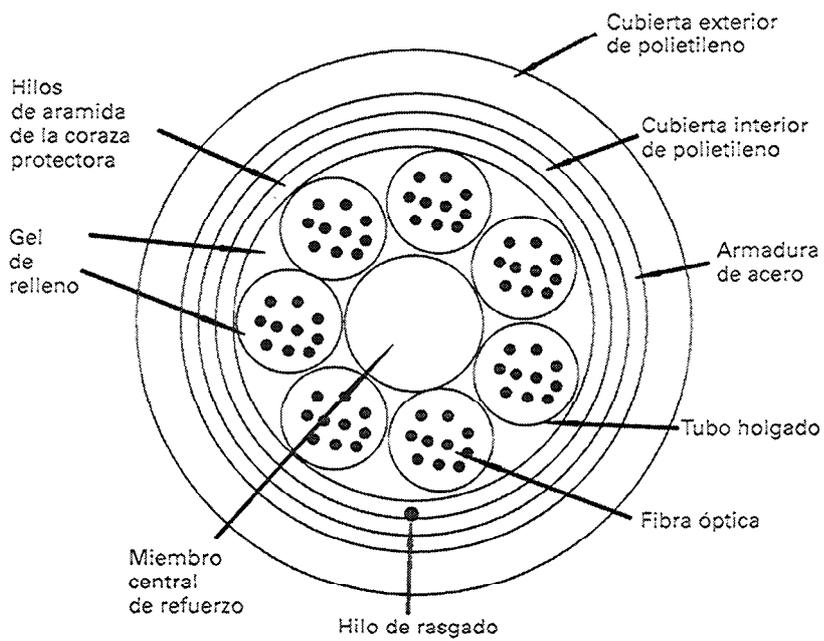


FIGURA 4.6. Cable de fibra óptica con armadura.

El cable blindado también se puede encontrar disponible con un recubrimiento protector de doble coraza para añadir protección en entornos agresivos. La coraza de acero del cable debería llevarse a tierra en todos los puntos terminales y en todas las entradas a los edificios.

#### **4.5. OTROS CABLES**

---

Existen otros cables de fibra óptica para las siguientes aplicaciones especiales:

##### **Cable aéreo autoportante**

El cable aéreo autoportante o autosoportado es un cable de estructura holgada diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas. No requiere un fiador como soporte. Para asegurar el cable directamente a la estructura del poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

##### **Cable submarino**

El cable submarino es un cable de estructura holgada diseñado para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

##### **Cable compuesto tierra-óptico (OPGW)**

El cable compuesto tierra-óptico es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.

##### **Cables híbridos**

El cable híbrido es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

##### **Cable en abanico**

Un cable en abanico es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conectorización directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones). Se usa fundamentalmente para aplicaciones interiores tales como redes RAL.

La tabla de la página siguiente proporciona una guía general de las aplicaciones de los cables de fibra óptica.

Aplicación	Tipo de cable								
	Cordones de conexión	Cable en abanico	Estructura-ajustada dieléctrico	Estructura-holgada dieléctrico	Estructura-holgada con armadura	Estructura-ajustada con armadura	Figura en 8	Auto-portante	Sub-marino
Conexión directa al equipamiento en la misma habitación o cabina <sup>1,2</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Terminada en panel de conexiones		X	X	X	X	X			
Entre oficinas de un mismo edificio <sup>2</sup>		X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>	X	X			
Dentro de una planta industrial <sup>2</sup>		X							
Alzadas elevadas	X								
Aérea entre edificios				X				X	
Subterránea en conductos				X					
Directamente enterrado				X <sup>4</sup>		X			
Submarina						X <sup>4</sup>			X
Cerca de alta tensión			X	X					

<sup>1</sup> Cuando los cordones de conexión van por fuera del armario o cabina del equipamiento, deben situarse en bandejas.

<sup>2</sup> Siempre se debería utilizar cable ignífugo.

<sup>3</sup> Cable situado en un conducto metálico.

<sup>4</sup> Algunos fabricantes de cable de estructura holgada permiten situar el cable en aguas poco profundas. Consulte los detalles con el fabricante del cable. En caso contrario, será necesario emplear un cable especial submarino.

Para conocer detalles de estos productos deberá contactarse con los fabricantes de cada uno de estos cables de fibra óptica.

#### **4.6. COMPOSICIÓN DEL CABLE**

---

Los cables de fibra óptica se fabrican con varios materiales para adecuarse al entorno de la instalación. Para prolongar la vida del cable es esencial una consideración cuidadosa de su composición.

Los cables de exteriores deben ser fuertes, a prueba de intemperie y resistentes al ultravioleta (UV). El cable debe resistir las variaciones máximas de temperatura que se pueden dar durante el proceso de instalación y a lo largo de su vida. A menudo un cable se especifica con dos rangos de temperatura. Un rango especifica las temperaturas de instalación y manejo del cable y el otro rango indica el máximo rango de temperaturas del cable después de que éste esté instalado y se halle en su posición estática final.

Los cables de exteriores se tratan para inhibir la penetración de la luz UV en la cubierta exterior e impedir la descomposición del material interno. Las cubiertas se pueden especificar con una protección UV adicional si se requiere.

Los cables de interiores deberán ser fuertes y flexibles y con el grado requerido de resistencia al fuego o de emisión de humos. Los colores de las cubiertas pueden ser naranjas o amarillos brillantes para su fácil identificación. En las siguientes secciones se enumeran algunos de los materiales más populares de los cables.

##### **Polietileno (PE)**

El polietileno es una cubierta de protección del cable bastante común para instalaciones exteriores. La cubierta de tipo negro tiene unas buenas propiedades de resistencia frente a la intemperie y la humedad. Es un aislante muy bueno y tiene unas propiedades dieléctricas estables. Dependiendo de su densidad molecular puede ser muy duro y rígido, especialmente a bajas temperaturas. Solo no es un buen material ignífugo, pero podría serlo si se tratara con los compuestos adecuados.

##### **Cloruro de polivinilo (PVC)**

Las cubiertas de PVC ofrecen una buena resistencia a los efectos medioambientales, con algunas composiciones que operan a temperaturas comprendidas entre  $-55$  y  $+55$  grados centígrados. Es un buen retardador del fuego y se puede encontrar tanto en instalaciones exteriores como en interiores. El PVC es menos flexible que el PE y generalmente más caro.

##### **Poliuretano**

El poliuretano es un material bastante común como cubierta de cables. Muchas composiciones tienen buenas propiedades de resistencia al fuego y es más duro y ligero

que otros muchos materiales. Tiene también propiedades de «efecto memoria», haciéndolo una elección ideal para latiguillos retráctiles.

### **Hidrocarburos polifluorados (fluoropolímeros)**

Algunas composiciones de cubiertas a base de hidrocarburos polifluorados tienen buenas propiedades de resistencia al fuego, poca emisión de humos y tienen buena flexibilidad. Se usan para instalaciones interiores.

### **Cabos de aramida/Kevlar**

Los cabos de aramida son un material ligero que se encuentra justo por dentro de la cubierta del cable, rodeando a las fibras, y que se puede usar como un miembro central de refuerzo. El material es fuerte y se utiliza para atar y proteger los tubos o fibras individuales en el cable. El Kevlar es una marca particular de cabos de aramida que es capaz de soportar un esfuerzo mecánico muy grande y que se utiliza frecuentemente en los chalecos antibalas. Los cables de fibra óptica que deben resistir tensiones de estiramiento o tracción elevadas utilizan a menudo el Kevlar como miembro central de refuerzo. Cuando se sitúa justo por dentro de la cubierta, rodeando todo el interior del cable, proporciona a las fibras una protección adicional frente al entorno. Puede también proporcionar propiedades de resistencia a las balas, que pudieran requerirse en instalaciones aéreas del cable en áreas de caza.

### **Coraza de acero**

La cubierta de coraza o armadura de acero se utiliza frecuentemente en instalaciones interiores y exteriores. Cuando se utiliza en un cable enterrado, proporciona una resistencia excelente a la compresión y es el único material verdaderamente a prueba de roedores. En ambientes industriales se utiliza dentro de la planta cuando el cable se instala sin conductos o bandejas de protección. Sin embargo, el acero que se añade al cable lo hace conductor, con lo que se sacrifica la ventaja como dieléctrico que posee el cable. Los cables con coraza de acero se deben llevar a tierra convenientemente.

### **Hilo de rasgado**

El hilo de rasgado del cable es un hilo muy fino y fuerte que se encuentra justo por debajo de la cubierta del cable. Se usa para rasgar fácilmente la cubierta del cable sin dañar su interior.

### **Miembro central**

El miembro central se utiliza para proporcionar fuerza y soporte al cable. Durante las operaciones de tendido del cable se debe asegurar al orificio de tracción. Para insta-

laciones permanentes, se debe atar al anclaje que hay para tal cometido en la caja de empalmes o en el panel de conexión.

### Relleno intersticial

Es ésta una sustancia gelatinosa que se encuentra en los cables de estructura holgada. Llena la protección secundaria y los intersticios del cable haciendo que éste sea impermeable al agua. Cuando se pele para empalmar el extremo del cable, se debe eliminar completamente con un compuesto especial que exista para tal efecto.

## 4.7. ESPECIFICACIÓN DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA: UN EJEMPLO

Lo que sigue es un ejemplo de una hoja de especificaciones típica de un cable de fibra óptica suministrada por un fabricante de fibras.

Especificaciones		Explicación
Tipo de cable:	Estructura holgada	
Número de fibras:	18	3 tubos activos, 6 fibras por tubo
Peso nominal:	166 kg/km	166 kg/km de cable
Diámetro:	14,4 mm	Generalmente varía un 5 por 100
<i>Rango de temperaturas:</i>		
Almacenamiento	-40 a 70 °C	Almacenamiento del cable en una bobina
Operación	-40 a 70 °C	Temperatura de trabajo durante la instalación
Instalación	-30 a 50 °C	Durante la instalación y manejo
<i>Máxima tensión aplicada:</i>		
Instalación	2.700 N	Máxima durante la instalación
Permanente	600 N	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación
<i>Mínimo radio de curvatura:</i>		
Instalación	22,5 cm	Mientras se está instalando el cable
Permanente	15,0 cm	Operacional, ningún cambio medido en la atenuación
Resistencia a la compresión	220 N/cm	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación
Máxima elevación	247 m	No requiere sujeciones ni anillas
Pares de cobre:	Ninguno	Usados para las comunicaciones durante la instalación o reparación
Cubierta:	Polietileno	Material disponible a menudo
Miembro central	Dieléctrico	Miembro central de refuerzo

# Capítulo 5

## ADQUISICIÓN DE LA FIBRA

---

Antes de adquirir cualquier cable de fibra óptica deberán considerarse cuidadosamente los detalles de su instalación y del equipamiento con objeto de seleccionar el mejor cable para la aplicación. Se pueden comprar cables tanto estándar (en existencias) como cables especiales hechos a medida. Un cable en existencias es generalmente más barato y tiene un tiempo de entrega más corto. Sin embargo, la selección está comúnmente limitada a los cables más populares. Los cables especiales se fabrican bajo las especificaciones del cliente. Pueden requerir un tiempo de entrega largo y son muy caros.

La lista siguiente muestra la información necesaria para hacer una orden de pedido detallada:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Tipo de fibra óptica:                | Monomodo o multimodo  |
| 2. Diámetro de la fibra óptica:         | 10/125, 50/125, 62.5/125, 85/125, 100/140 $\mu\text{m}$                                   |
| 3. Longitudes de onda de trabajo:       | 850, 1.310, 1.550 nm  |
| 4. Máxima atenuación de la fibra:       | Decibelios por kilómetro a las longitudes de onda de trabajo                              |
| 5. Mínimo ancho de banda modal:         | Megahercio $\times$ kilómetro   |
| 6. Longitud de onda de dispersión nula: | Longitud de onda  |
| 7. Dispersión material de la fibra:     | Nanosegundos/nanómetros $\times$ kilómetro  |
| 8. Apertura numérica de la fibra (AN):  | Valor   |
| 9. Número de fibras ópticas:            | Número  |
| 10. Tipo de cable de fibra óptica:      | Estructura holgada, estructura ajustada, figura en 8, latiguillo, cable de conexión, etc. |
| 11. Aplicación:                         | Aérea, enterrada, instalación en conductos, etc.  |

12. Tipo de cubierta del cable:	Exterior, interior, con coraza, etc.
13. Clase del código de fuego del cable:	Pleno, no pleno, elevador, etc.
14. Dieléctrico del cable:	Todo dieléctrico o no dieléctrico
15. Longitud del cable:	Metros, o pies
16. Precio del cable:	Por unidad de longitud, descuento por volumen, descuento por existencias
17. Nombre del fabricante de fibra óptica:	
18. Nombre del fabricante del cable:	Generalmente no es el mismo que el fabricante de la fibra óptica
19. Diámetro del campo modal de la fibra:	Micrómetros (sólo para fibras mono-modos)
20. Longitud de onda de corte de la fibra:	Nanómetros (sólo para fibras mono-modos)
21. Pares de cobre incluidos:	Número y medida de los hilos
22. Diámetro exterior del cable (DE):	Milímetros
23. Composición del cable:	Elementos de relleno, miembros de refuerzo, blindaje, acero, Kevlar, etc.
24. Cubierta del cable:	Clase UV, clase de alto voltaje, composición
25. Rango de temperaturas de trabajo:	Mínima y máxima en grados
26. Rango de temperaturas de instalación:	Mínima y máxima en grados
27. Mínimo radio de curvatura con carga:	Centímetros
28. Mínimo radio de curvatura sin carga:	Centímetros
29. Máxima elevación vertical:	Metros
30. Peso del cable:	Por unidad de longitud
31. Máxima tensión dinámica:	Kilopondios de fuerza
32. Máxima tensión estática:	Newtons de fuerza
33. Máxima extensión del cable por bolsa:	Metros (para instalaciones aéreas)
34. Marcas del cable:	Marcas secuenciales por metro o pie, nombre de la compañía, identificación del cable, tipo de cable, etc.
35. Resistencia del cable al aplastamiento:	Newtons de fuerza, resistencia a los impactos o disparos
36. Orificio de tracción:	Instalados en fábrica, incluidos en el envío
37. Extremos del cable:	Ambos extremos accesibles mientras estén en los bobinados
38. Código de colores de la fibra óptica:	Estándar o bajo petición
39. Longitudes de los bobinados de envío del cable:	Metros, pies
40. Número de bobinas de cable:	Número
41. Tipo y tamaño de los bobinados del cable:	¿Pueden los instaladores manejar el tamaño del bobinado?
42. Bobinado vacío retornable:	Algunos carretes se pueden retornar para reembolso
43. Hoja de prueba:	Datos del examen OTDR suministrados por el fabricante

- |  |  |
|--|--|
| 44. Fechas de entrega y envío:           | Confirmadas  |
| 45. Localización de la entrega y cargas: | Entrega al lugar indicado                              |
| 46. Precio futuro del cable:             | Garantizado para una petición adicional                |
| 47. Otras consideraciones:               | Otras posibles consideraciones en la gestión del cable |

Para aplicaciones de fibra multimodo, que usan productos y diseños estándar, como muchas redes RAL, los fabricantes de equipamiento especifican una fibra óptica estándar y un cable. La lista completa se puede entonces detallar como sigue:

- |  |   |
|--|---|
| 1. Diámetro de la fibra óptica:            | 50/125, 62,5/125, 85/125, 100/140 $\mu\text{m}$   |
| 2. Longitudes de onda de trabajo:          | 850 o 1.310 nm  |
| 3. Máxima atenuación de la fibra:          | Decibelios por kilómetro a las longitudes de onda de trabajo                              |
| 4. Mínimo ancho de banda modal:            | Megahercio $\times$ kilómetro   |
| 5. Apertura numérica de la fibra (AN):     | Valor   |
| 6. Número de fibras ópticas:               | Número  |
| 7. Tipo de cable de fibra óptica:          | Estructura holgada, estructura ajustada, figura en 8, latiguillo, cable de conexión, etc. |
| 8. Aplicación:                             | Aérea, enterrada, instalación en conductos, etc.  |
| 9. Tipo de cubierta del cable:             | Exterior, interior, con coraza, etc.  |
| 10. Clase del código de fuego del cable:   | Pleno, no pleno, elevado, etc.  |
| 11. Dieléctrico del cable:                 | Todo dieléctrico o no dieléctrico   |
| 12. Longitud del cable:                    | Metros, o pies  |
| 13. Precio del cable:                      | Por unidad de longitud, descuento por volumen, descuento por existencias                  |
| 14. Nombre del fabricante de fibra óptica: |   |
| 15. Nombre del fabricante del cable:       | Usualmente no es el mismo que el fabricante de la fibra óptica                            |





# Capítulo 6

## PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

---

Hay ciertas precauciones que deben tomarse cuando se trabaja con fibras ópticas. Éstas ayudan a mantener un entorno de trabajo seguro y reducen el tiempo perdido por accidentes. Además de estas precauciones deben seguirse también otras reglas de seguridad para el entorno de la instalación. Este capítulo discute las precauciones de seguridad que se deben observar cuando se trabaja con fibras ópticas.

### **Corte y pelado del cable**

Cuando se corta y se pela un cable de fibra óptica, el personal debería llevar guantes y gafas de seguridad apropiados. Herramientas tales como cortadoras (cutter), peladoras, etc., pueden ser muy afiladas y causar daños. Los pequeños trozos cortados de fibra pueden volar fácilmente durante los procedimientos de corte, marcado y rayado.

### **Trozos de fibra óptica**

Los trozos de fibra que resultan a partir de los procesos de pelado o rayado deberán guardarse inmediatamente en un contenedor cerrado y etiquetado como «residuos de fibra». Los trozos de fibra de vidrio cortados están muy afilados y pueden dañar fácilmente el ojo o pinchar la piel. Las fibras deberán ser manejadas únicamente con pinzas.

### **Luz de láser**

La luz de una fibra óptica puede dañar seriamente al ojo incluso si la luz es invisible. Antes de trabajar con cualquier fibra óptica deben apagarse todas las fuentes de

luz. Nunca se debe mirar al extremo de una fibra, ya que pudiera estar acoplada a un láser.

Hay que cerrar con llave las fuentes láser y etiquetarlas con «no encender» para prevenir accidentes.

### **Tensión del cable**

Bajo tensión los miembros de refuerzo de un cable de fibra óptica pueden almacenar mucha energía elástica, por lo que fácilmente pueden dar un latigazo hacia atrás y causar daños. Se debe tener un cuidado especial durante las operaciones de tendido del cable o cuando el miembro de refuerzo esté bajo tensión mecánica.

### **Solventes y soluciones de limpieza**

Los líquidos que se utilizan para limpiar las fibras ópticas y para eliminar los compuestos de relleno pueden irritar los ojos y la piel. Además, los vapores de estos líquidos son potencialmente inflamables y pueden causar problemas respiratorios. Cuando se trabaja con estos solventes, se deben proteger los ojos y las manos, se debe mantener el área bien ventilada y no se debe fumar o permitir encender fuego en el área de trabajo.

### **Empalmadora de fusión**

La chispa eléctrica que genera una empalmadora de fusión de fibra óptica puede causar una explosión en presencia de vapores inflamables. Nunca se deberá utilizar una empalmadora de fusión en un área confinada, como una arqueta o galería subterránea.

En los capítulos siguientes se discuten normas adicionales de seguridad. Siempre hay que estar atentos a las recomendaciones y precauciones de los fabricantes cuando se usan o instalan sus productos.

# Capítulo 7

## MANEJO DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA

---

Debido a las propiedades vítreas de un cable de fibra óptica siempre se debe manejar el cable con cuidado. Las fibras de vidrio se rompen fácilmente si se ignoran las técnicas propias de manejo. En algunas ocasiones, la cubierta del cable en el punto dañado de una fibra puede parecer perfectamente normal, haciendo difícil o imposible su localización sin utilizar instrumentos caros (se requiere, por ejemplo, un OTDR).

Dos de los factores más importantes que hay que tener en mente durante una instalación son el *radio de curvatura mínimo* del cable y la *tensión de tendido, arrastre o tracción*.

### Radio de curvatura mínimo

Un cable de fibra óptica tiene un radio de curvatura mínimo especificado por el fabricante, para *condiciones de carga* como las que se presentan durante el arrastre del cable, y para *condiciones sin carga*, después de que el cable ya ha sido instalado y se encuentra en su posición final de reposo. El cable no se debe curvar más pronunciadamente, en ningún momento del proceso de fabricación, que el radio de curvatura mínimo en condiciones de carga. El radio de curvatura sin carga es más pequeño y se puede usar sólo cuando no hay tracción alguna sobre el cable. El radio de curvatura varía con el diámetro del cable y a menudo se especifica como un múltiplo del diámetro del cable (por ejemplo,  $20 \times DE$ ).

Las fibras individuales y los cables de conexión de fibra tienen un radio de curvatura mínimo más pequeño, usualmente entre 3 y 7 centímetros (ver Fig. 7.1). Este radio de curvatura mínimo varía con la longitud de onda de trabajo y es ligeramente mayor a longitudes de onda mayores (por ejemplo, para instalaciones a 1.550 nm).

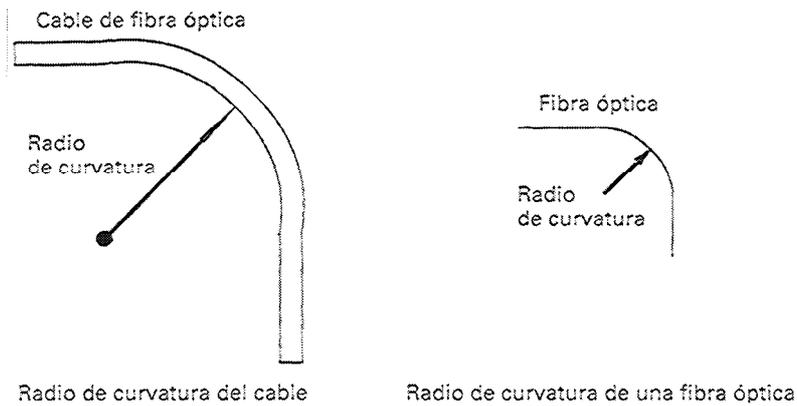


FIGURA 7.1. Radio de curvatura.

Si la curvatura de un cable de fibra óptica es más cerrada que el radio de curvatura mínimo permitido o si se abusa del cable, las fibras ópticas del cable pueden romperse o haber alterado sus características físicas, aunque no sea evidente el daño físico del cable. En ese caso, puede que sea necesario reemplazar la sección maltratada o la longitud entera del cable. El cable debería examinarse inmediatamente.

Curvar el cable más que su radio de curvatura mínimo puede dañar el cable y/o aumentar la atenuación de la fibra por encima de las especificaciones del fabricante.

### Tensión de tendido

Un cable de fibra óptica tiene una tensión de tendido más baja que la que tienen la mayoría de los cables convencionales. Las máximas tensiones de tendido durante la instalación están especificadas por el fabricante y no se deberían exceder en ningún momento. El cable debería tenderse a mano siempre y cuando sea posible. Cuando se utilicen técnicas de tracción mecánica, se deberán monitorizar siempre las tensiones de tracción. Para este propósito se utiliza, a menudo, un registrador de cinta. El cable se debe tender con movimiento continuo y estacionario, nunca con sacudidas o tirones. No hay que empujar el cable en ningún momento. El cable se deberá instalar utilizando la mínima tensión posible.

Para condiciones de instalación permanente del cable, la carga de tensión en el cable deberá mantenerse mínima, bastante por debajo de las especificaciones del fabricante para la carga de tensión en una instalación permanente. La mayor carga de tensión en un cable ocurrirá en una instalación vertical y estará causada por el peso del cable. Esta carga debería determinarse y mantenerse por debajo de las especificaciones del fabricante.

### Cuidado general

El cable deberá manejarse con cuidado en todo momento. Un manejo tosco del cable, retorciéndolo, abollándolo, desgastándolo o maltratándolo, es probable que rompa o dañe las fibras de vidrio o que altere sus características de transmisión.

No se debe nunca torsionar el cable. Si se almacena, debe usarse un carrete para el cable o, para pequeños tramos, dejarle formando una figura de 8 en un sitio plano. Debemos asegurarnos de que los radios de las curvas de las figuras en 8 son mayores que el radio de curvatura mínimo de la fibra. Para evitar el aplastamiento del cable cuando se almacenan grandes longitudes, deben sujetarse los puntos de cruce situados en la mitad de la figura en 8.

Hay que evitar deformar el cable con abrazaderas, soportes, cinturones, guías y cosas parecidas. Todos los soportes y abrazaderas deberán tener una superficie de contacto uniforme y homogénea. No atar demasiado fuerte. Ajustar sólo hasta que el cable este prieto. La cubierta del cable no deberá deformarse por las ataduras.

Los cables deberán situarse en bandejas planas o en conductos portacables. Evitar causar puntos de presión sobre el cable. También evitar dejar objetos pesados o apilar cables sobre la parte de arriba del cable de fibra óptica. Todos los dobleces deben ser suaves, con radios mayores que el radio de curvatura mínimo. El cable no debe estar en contacto con objetos afilados que puedan dañarlo.

Cuando se instalen cables adicionales donde ya existen cables de fibra óptica hay que poner un cuidado especial. Los orificios de tracción que tienen bordes afilados pueden cortar fácilmente el cable atravesando la cubierta de éste. Siempre que sea posible, deberán situarse los cables en tubos portacables o en conductos exclusivos para los cables de fibra.

Para instalaciones subterráneas, el cable debe tenderse en una zanja, libre de grandes piedras o cantos que pudieran deformarlo.

Evitar situar los carretes de cables sobre sus costados o someterlos a sacudidas por caídas. No permitir que circulen vehículos sobre el cable. Durante el pelado del cable, se prestará un cuidado especial a asegurar que los tubos o protecciones del cable no se dañen o corten.

El cable de fibra óptica no se debe cortar bajo ninguna circunstancia, salvo que se tenga el consentimiento de los responsables correspondientes. La reparación de un cable es un proceso costoso y largo, que introduce atenuación en el enlace. Un cable de fibra óptica deberá instalarse con el mínimo número de empalmes, para minimizar su atenuación.



# Capítulo 8

## INSTALACIONES DE CABLE EN EXTERIORES

---

Un cable de fibra óptica se puede instalar en exteriores para conectar edificios o incluso ciudades. Las dos instalaciones más populares son la instalación aérea entre postes y la instalación de cable enterrado bajo tierra. En estas aplicaciones se usa generalmente un cable de estructura holgada de exteriores. Se dispone de cables con protección de exteriores estándar, con protección extragruesa (llamada a menudo doble cubierta) o con una cubierta blindada o armadura.

### **8.1. INSTALACIÓN DE CABLE ENTERRADO**

---

Un cable de fibra óptica se puede enterrar directamente bajo tierra o situar en un conducto enterrado. Las instalaciones de cables directamente enterrados son bastante frecuentes en las largas rutas que cruzan los países. Una vez que se ha puesto a punto el equipamiento apropiado para hacer zanjas, el proceso de instalación seguirá a buena marcha. En estas instalaciones se utilizan cables especiales para ser directamente enterrados sin protección adicional.

Alternativamente, la instalación de conductos bajo tierra puede dotar al cable de una protección adicional frente al entorno y puede permitir la instalación futura de cables o su eliminación sin necesidad de excavar. Esto puede ser beneficioso en las instalaciones urbanas que van bajo las calles. También se puede utilizar un cable para exteriores estándar, sin armadura, en vez del pesado cable blindado.

Antes de que comiencen las excavaciones, se deben investigar las condiciones del suelo a lo largo de la ruta del cable, para determinar la selección del equipamiento de colocación del cable, el tipo de cable o conducto (si se utiliza) y la profundidad de la instalación. Todas las utilidades que existen bajo tierra, como los cables enterrados, las cañerías y otras estructuras a lo largo de la ruta, deben ser identificadas y localizadas.

El cable de fibra óptica se puede introducir en zanjas o enterrar directamente. Abrir zanjas o fosos cuesta más tiempo que hacer surcos directamente, pero permite una instalación más controlada. Las zanjas se cavan a mano o a máquina hasta la profundidad indicada (como se muestra en la Fig. 8.1).

El enterramiento superficial de un cable es más rápido (haciendo pequeños surcos), pero debería monitorizarse el proceso, para asegurarnos de que durante la operación el cable no se daña o se sitúa cerca de rocas. El enterramiento superficial también requiere disponer del equipamiento adecuado para tal fin. Se puede utilizar una combinación de los dos métodos: enterramiento superficial en áreas aisladas y zanjas en carreteras o áreas muy pobladas.

Un cable de fibra óptica se puede situar en un rango de profundidades que va de 30 a 40 pulgadas (75 a 100 cm), dependiendo de las condiciones del suelo, el uso de la superficie, y de si suele helar (ver Fig. 8.1). Puede ser requerida, por ejemplo, una instalación a mayor profundidad que 40 pulgadas, en una granja o en un cruce de carreteras. En climas más fríos, el cable debe ser enterrado por debajo de la línea de congelación, para evitar abultamientos por congelación de la superficie.

Las zanjas deben hacerse tan rectas como sea posible. El fondo de la zanja deberá ser plano, nivelado y sin piedras. Un relleno ligero, sin piedras, se puede acomodar alrededor del cable. Esto proporcionará una distribución mejor de la carga del cable, reducirá el posible daño del cable y disminuirá las pérdidas por microcurvaturas de la fibra óptica. El relleno debe estar un poco por encima del nivel original del suelo, para permitir el asiento de la zanja. Todas las zanjas abiertas deberán resguardarse con el vallado correspondiente.

Directamente justo encima del cable se puede enterrar una cinta de aviso brillan-

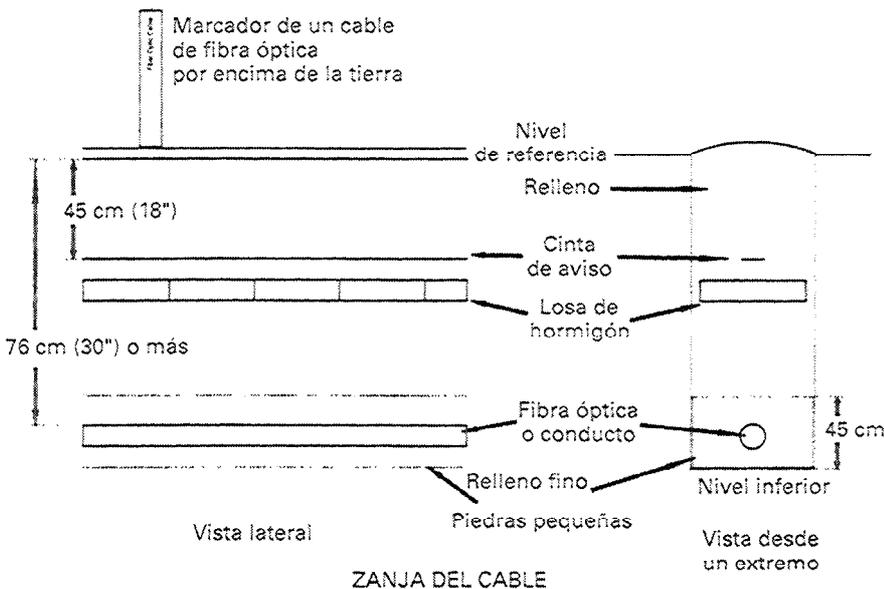


FIGURA 8.1. Cable de fibra óptica enterrado.

te, para alertar a las futuras operaciones de cavado. Se pueden situar también por encima del cable, en áreas de tráfico intenso, pequeñas losas de hormigón (losas de patio) para alertar a los obreros de mantenimiento de la presencia de cable enterrado. También se pueden utilizar cintas especiales, enterradas y detectables, o marcadores, para ayudar a la localización de los cables enterrados. Hay también en el mercado marcadores de cable que se sitúan por encima del nivel del suelo, pero pueden atraer una atención no deseada sobre el cable de fibra óptica.

Para aplicaciones de cable directamente enterrado, se deben seleccionar cables con una pesada cubierta blindada que proporciona resistencia al aplastamiento y protección contra los roedores. Cuando se utilice un blindaje conductor, como el acero o el aluminio, deberá llevarse el cable a tierra en todos los puntos terminales y a la entrada de los edificios.

Los empalmes se pueden almacenar en cajas de empalme diseñadas para instalaciones subterráneas, que son estancas al agua. Las cajas se entierran a nivel de la superficie para permitir un acceso fácil. Sistemas más elaborados pueden requerir la instalación de una arqueta para cable.

Se deberá tener siempre en cuenta el radio de curvatura mínimo para el cable y los subconductos o conductos internos.

## 8.2. CONDUCTOS PARA EL CABLE

---

Un cable de fibra óptica se puede tender dentro de sistemas de canalización nuevos o existentes. Los conductos o tuberías proporcionan al cable protección y un medio para la instalación y eliminación futura de cables. Los conductos se pueden sobredimensionar, o se pueden instalar conductos sobrantes para permitir la colocación de cables adicionales en la ruta.

Cuando se instala un cable en un sistema de canalización público, el uso de tuberías proporciona al cable protección contra las operaciones de instalación de cables de otras compañías (ver Fig. 8.2). También suministra al cable protección adicional frente al entorno y se puede tender también en viejas instalaciones de conductos, donde los desprendimientos son frecuentes.

La mayoría de las canalizaciones y tuberías se construyen con polietileno de alta densidad (PEAD), PVC o un compuesto epoxy de fibra de vidrio. Los conductos son frecuentemente de color negro o gris. Los colores comunes de los subconductos son el naranja brillante o el amarillo, que los identifican como conductos de fibra óptica.

Dentro y fuera de los conductos y de los subconductos hay salientes longitudinales o corrugados. Estos salientes ayudan a disminuir las tensiones de tracción durante la instalación. Hay conductos de paredes exteriores lisas, para que puedan ser usados en localizaciones ajustadas. El tipo corrugado es muy flexible y se puede utilizar en emplazamientos con muchas vueltas o curvas. Después de que un subconducto corrugado se haya introducido en un conducto, se deberá dejar durante un día, sin cortar, para permitir que el subconducto se retraiga dentro del conducto debido a la acción de muelle que ejerce su superficie ondulada.

Los conductos y subconductos se fabrican con una cinta de tracción preinstalada por el fabricante. Esto puede ahorrar tiempo durante el proceso de instalación. Tam-



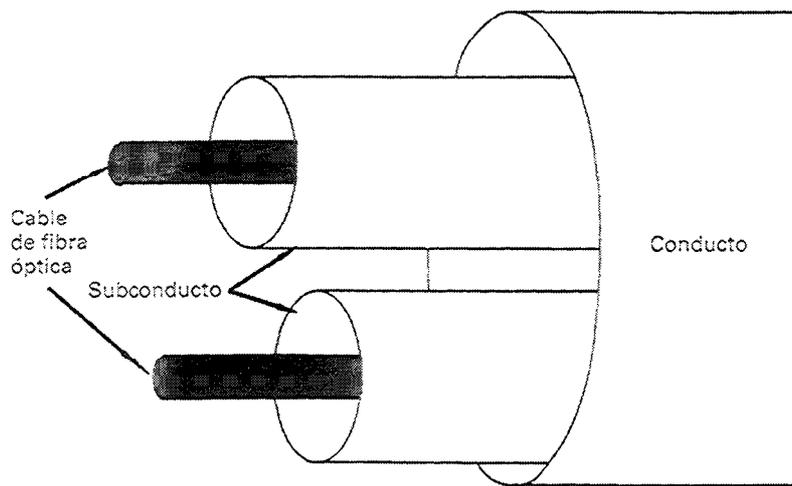


FIGURA 8.2. Conductos y subconductos.

bién se hallan disponibles conductos prelubricados, lo que puede disminuir drásticamente las tensiones de tracción durante la instalación.

Los conductos y subconductos tienen un radio de curvatura mínimo. No se deben curvar los conductos más allá de dicho radio. Este radio puede venir especificado como *con soporte* o *sin soporte*. El radio con soporte o soportado se debería usar sólo cuando el conducto se curva alrededor de una estructura de soporte, como es el caso de otro conducto o sobre un carrete. El radio sin soporte se utiliza para curvaturas de conductos en los cuales no hay soporte en la curva.

Tras la instalación del cable de fibra óptica en un subconducto, se deben instalar tapones terminales para garantizar un sellado efectivo al agua. Por tanto, los subconductos deberían mantenerse en todo momento estancos al agua y lejos del alcance de posibles derrumbamientos.

Los conductos y subconductos se deben dimensionar para cumplir los requerimientos de instalación de cables presentes y futuros (ver Fig. 8.3). Una razón de llenado del 50 por 100 (por área de sección transversal) es una buena regla aproximada para conseguir el mínimo tamaño del conducto. Por ejemplo, un cable de 0,6 pulgadas de diámetro exterior (DE) se puede instalar dentro de un conducto o subconducto de una pulgada de diámetro interior (DI, dimensionado para la instalación de un único cable). Este tamaño se puede incrementar para grandes longitudes de instalación que tengan muchas curvas. Un conducto más amplio puede ayudar a reducir las tensiones de tracción del cable. Un conducto más amplio puede ser también necesario para proporcionar alojamiento a futuras instalaciones de cable. Los tamaños estándar de los conductos varían de 3 a 8 pulgadas de DI. Los tamaños de los subconductos varían desde 0,75 a 2 pulgadas.

En aplicaciones de cable enterrado se deberían usar conductos de pared gruesa que tengan capacidad para resistir la fuerza de compresión del relleno y del tráfico terrestre.

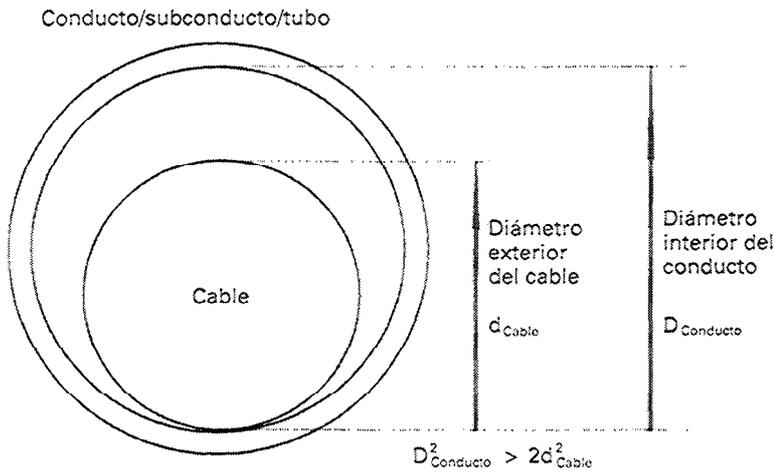


FIGURA 8.3. Tamaño del conducto/subconducto/tubo.

### 8.3. LUBRICANTE DEL CONDUCTO

Para tracciones de largos conductos de cable, o tracciones con numerosas curvas o vueltas, es común para el cable de fibra óptica el uso de un lubricante de altas prestaciones. El propósito fundamental de dicho lubricante es reducir el *coeficiente de fricción* del cable y, por tanto, reducir la tensión que se ejerce sobre el cable durante el procedimiento de instalación por tracción.

Las características de un lubricante de fibra óptica incluyen:

- Adecuación a las temperaturas exteriores.
- Propiedades ignífugas.
- Un bajo coeficiente de fricción (preferiblemente menor que 0,25) cuando se usa sobre cables con cubierta de polietileno u otros tipos de cables.
- Cualidades consistentes durante todo el período de instalación.
- Coeficiente de fricción seco, que se puede hacer notar para futuras tracciones del cable.
- Incapacidad de afectar a las propiedades de la cubierta del cable, tubo, conducto o subconducto durante y después de la instalación.
- Examinado y aprobado por las autoridades pertinentes, tales como UL o CSA.

El lubricante debe llenar el conducto por completo y debe ser aplicado:

- A todos los puntos de alimentación del cable y a los puntos intermedios de tracción.
- Justo antes de las curvas, cuando sea posible.
- Con un manguito y una bomba para el lubricante.

El lubricante es muy resbaladizo, por lo que cualquier derramamiento de lubricante deberá limpiarse tan pronto como sea posible, utilizando el procedimiento recomendado por el fabricante. La cantidad de lubricante que se requiere para una instalación se puede estimar, de manera aproximada, utilizando la siguiente fórmula:

$$C = 0.00378 \times L \times (DIN + DEN)$$

donde C = Cantidad de lubricante en litros  
 L = Longitud del tendido en metros  
 DIN = Diámetro interior nominal del conducto en centímetros  
 DEN = Diámetro exterior nominal del cable en centímetros

#### **8.4. CINTA DE TRACCIÓN**

---

La cinta de tracción se utiliza para tirar del cable o del conducto interno dentro del conducto enterrado. Para prevenir una rotura prematura o que se dañe el cable o el sistema de canalización, se deberá usar una cinta de tracción adecuada.

Las características de la cinta de tracción incluyen:

- Construcción plana, similar a la cinta de medida, lo que reduce el daño que se puede hacer al conducto.
- Cada metro (o pie) estará marcado secuencialmente para una identificación fácil de la distancia.
- Un cordón de Kevlar para mayor refuerzo.
- Diseñada para no estirarse o tensarse.
- Construida para soportar una tensión de tracción mayor que la máxima prevista.

En las instalaciones nuevas de conductos, la cinta de tracción se encuentra preinstalada en conductos y subconductos. Puede encontrarse también empalmada o fundida a lo largo del conducto.

Con objeto de reducir la posibilidad de uniones débiles, se cosen las conexiones o uniones de la cinta de tracción al cable o al orificio de tracción. Entre la cinta y el cable se utiliza un eslabón giratorio que previene la torsión del cable. También se pueden utilizar uniones rompibles y sensibles a la tensión para proteger al cable de fibra óptica de una tensión elevada.

Si se van a instalar cables adicionales en el futuro deberá instalarse una cinta de tracción junto con el cable y dejarse allí para futuros tendidos.

#### **8.5. INSTALACIÓN DEL CABLE EN CONDUCTOS**

---

El cable de fibra óptica se puede tender en sistemas de conductos subterráneos nuevos o existentes (ver Fig. 8.4). La instalación de conductos es frecuente en centros urbanos poblados, donde la excavación constante de las calles es desalentadora, difícil y costosa. Una vez en su sitio el sistema de conductos, se puede proceder a la instalación del cable sin apenas interrupciones.

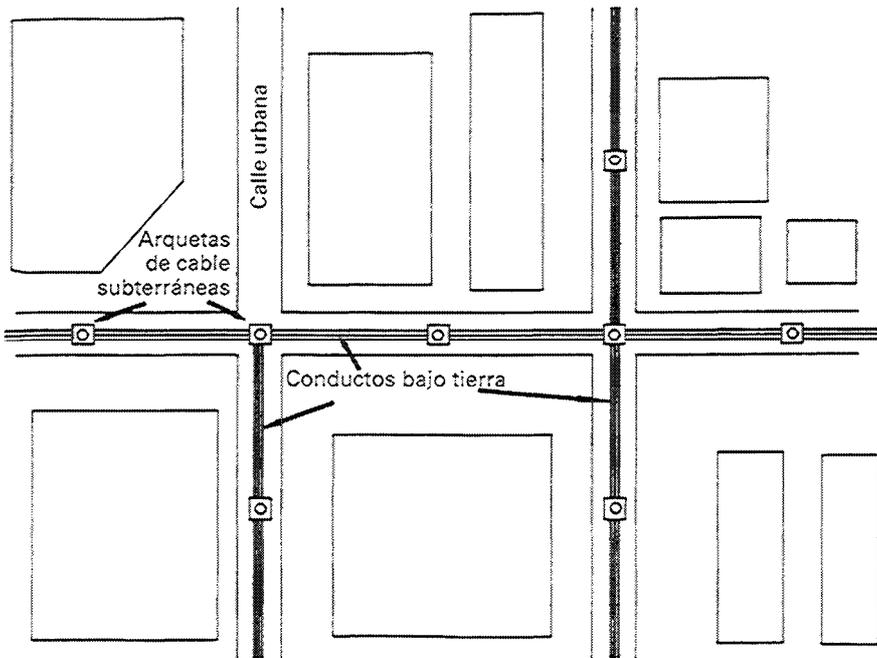


FIGURA 8.4. Sistema de conductos subterráneos urbanos.

Los conductos varían en tamaño. Sin embargo, un diámetro popular es 4 pulgadas. A intervalos regulares, los conductos están terminados en arquetas o bóvedas de cable subterráneas (pozos de registro). Estas arquetas proporcionan un medio de acceso al sistema de conductos.

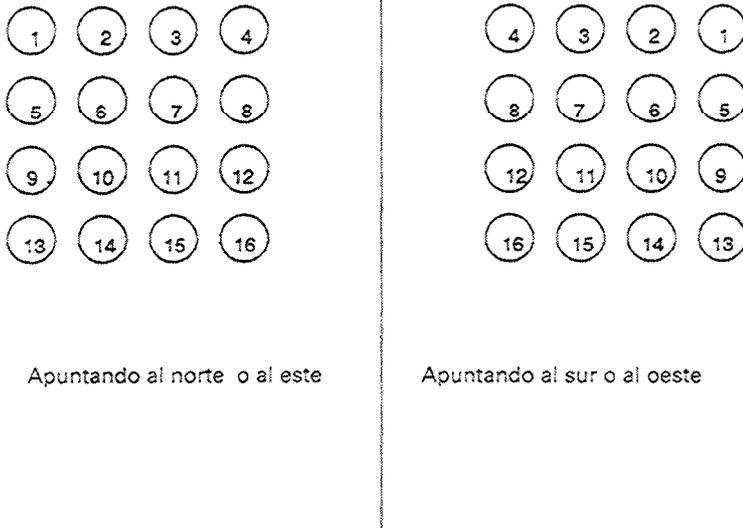
Las arquetas son normalmente rectangulares y hechas de hormigón. Cuando se crea un sistema de conductos de cable, se instala un número adecuado de conductos que permita acomodar la suficiente capacidad de cable para los requerimientos presentes y futuros.

Los conductos terminan en una de las paredes de la arqueta de cables de manera ordenada, como se muestra en la Figura 8.5.

Un cable de fibra óptica se puede tender en un conducto nuevo o en uno ya existente. Se instala la longitud más larga posible de cable ininterrumpido para reducir el número de empalmes. Las longitudes de los cables están determinadas por el diseño de ingeniería, considerando factores tales como la tensión de tracción, la longitud de la ruta, el número de vueltas o curvas, la dirección de tracción, la localización de la caja de empalmes, la accesibilidad y la atenuación del enlace de la fibra. Antes de realizar cualquier tracción del cable, se deberán inspeccionar cuidadosamente todos los conductos y las arquetas de cables para controlar los posibles daños o deterioros y para inspeccionar las medidas de seguridad.

Antes de entrar en una arqueta de cables, se debe extremar la precaución para asegurar un entorno de trabajo seguro:

Pared de una arqueta de cables



Apuntando al norte o al este

Apuntando al sur o al oeste

FIGURA 8.5. Configuración y asignaciones en una pared típica de conductos.

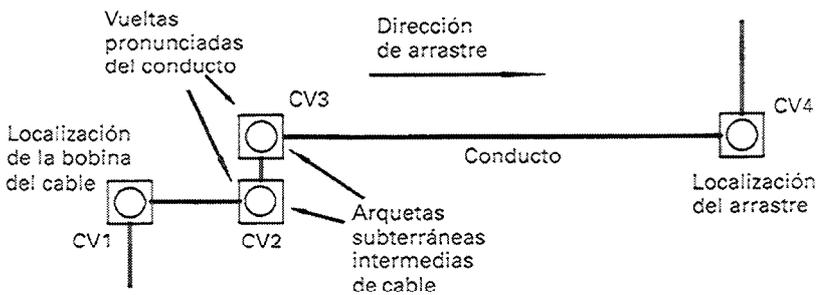
- Las arquetas subterráneas abiertas se deben marcar claramente, resguardar y rodear con barricadas.
- Se deben realizar pruebas de gases peligrosos. Todas las arquetas deben ventilarse apropiadamente.
- No se deben permitir llamas abiertas, ni dentro ni en los alrededores de la arqueta.
- Se deben examinar escaleras, elementos de arrastre, rafles y cosas parecidas para comprobar la corrosión y para asegurarse de que están amarradas de manera segura.
- Se deberán estacionar los vehículos para evitar la entrada en la arqueta de los gases que producen.
- Se tendrá cuidado de no dañar los cables existentes.
- Se guardará una precaución especial cuando se bombee el agua fuera de la arqueta subterránea. Si se encuentra gasolina o aceite, se deberá avisar a los bomberos.
- Se deberán evaluar las condiciones de tráfico antes de entrar en la arqueta subterránea, y se deberán conseguir los permisos correspondientes de los estamentos oficiales.
- No se deberán utilizar empalmadoras de fusión en las arquetas, debido a que la chispa eléctrica que generan puede producir una explosión si hay gases inflamables presentes.
- Si las arquetas contienen líneas de alta tensión en uso, se deberá llamar a la compañía o empresa de servicio público a la que pertenece la arqueta, para determinar sus localizaciones y evaluar los peligros.

- Siempre se deberán respetar las regulaciones sobre salud y seguridad de los establecimientos industriales y proyectos de construcción.

**Procedimiento de tendido del cable**

Realice todos los procedimientos de seguridad prescritos y proceda como sigue:

1. Abrir todas las arquetas de cables subterráneas y asegurarse de que están seguras y despejadas.
  2. Identificar todos los conductos que se van a usar para el emplazamiento del cable.
  3. Asegurarse de que todos los conductos están despejados. Puede que sea necesaria la limpieza de los conductos.
  4. Si hay cables presentes en los conductos que se van a utilizar en el tendido de fibra óptica, se deberá identificar el tipo de cable existente y se deberá llamar al propietario del cable para informarle de nuestro proceder y para identificar cualquier falta de seguridad.
  5. Para minimizar las tensiones del cable, se deberán planificar las localizaciones de las bobinas o carretes que alimentan las arquetas cerca de las curvas más pronunciadas. Los puntos de arrastre y colocación de las bobinas deberían estar, si fuera posible, en las arquetas de las esquinas. Ver Figura 8.6.
  6. Cuando se tiende un cable alrededor de una curva, hay que recordar que existe una presión añadida sobre la pared del conducto y una presión de compresión sobre el cable.
  7. Identificar las arquetas subterráneas de arrastre y las bobinas. Montar todo el equipamiento adecuadamente (ver, por ejemplo, la Fig. 8.7).
- La polea de tracción del cable debe equiparse con un registrador de tensión y con una pantalla electrónica dinámica; la velocidad de la polea deberá ser controlada.
  - Se debe instalar en la arqueta de alimentación un collar lubricante y un tubo de alimentación.
  - Se deberá instalar en la arqueta de tendido una polea de tamaño adecuado.



**FIGURA 8.6.** Localización de la tracción y de la bobina.

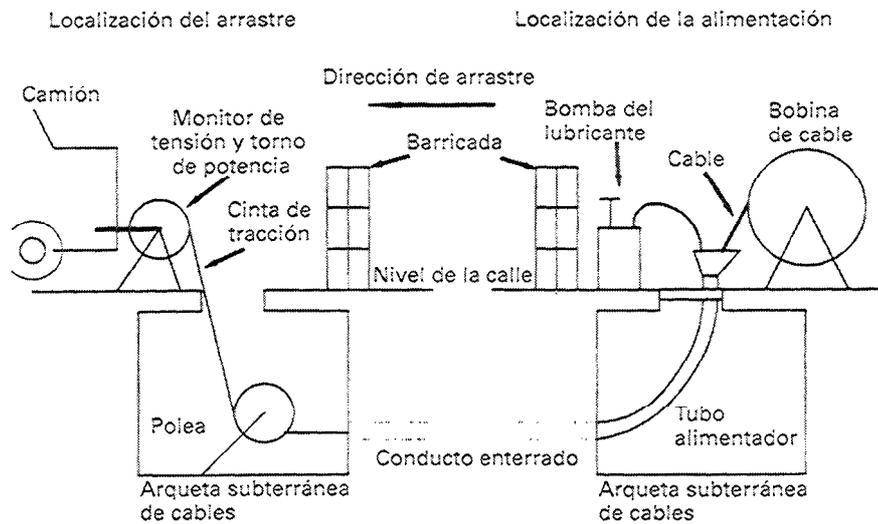


FIGURA 8.7. Sistema de tracción de cable en conductos subterráneos.

8. Se deberá instalar en la ruta del conducto un largo continuo, sin empalmes, de cinta de tendido.
9. Antes de arrastrar el cable y mientras éste esté todavía en el carrete, se deberán examinar todas las fibras ópticas del cable con un OTDR y un adaptador de fibra desnuda, para asegurarse de que son aceptables.
10. Si se va a recolocar el cable en subconductos o conductos internos, primero hay que instalar el cable en subconductos:
  - Posicionar el carrete de subconductos de tal manera que no haya obstrucciones que lo obstaculicen para ser arrastrado dentro de la arqueta.
  - Atar al subconducto, con un eslabón giratorio, la polea de arrastre adecuada, y atar la cinta de arrastre al orificio.
  - Asegurarse de que todas las poleas, rodillos y cabrestrantes tienen los radios adecuados para el subconducto.
  - Durante las operaciones de arrastre no debería haber personal en las arquetas. Se deberá extremar el cuidado durante el arrastre para que la maquinaria móvil no pille prendas holgadas, manos u otros objetos.
  - Las prendas sueltas deberán mantenerse bien apartadas de las piezas móviles. Todo el personal situado a lo largo de la ruta del cable deberá estar en contacto, vía radio, continuamente.
  - Tire a mano del subconducto tanto como sea posible. Aplique lubricante si es necesario. Use longitudes más cortas donde fueran requeridas y entonces conecte los tramos con los conectores de subconductos adecuados; conecte también las cintas de tendido.
  - Donde no se pueda tirar a mano del subconducto se deberá arrastrar con un torno. No es necesaria la monitorización continua de la tensión, pero no se deberá exceder la tensión máxima que es capaz de soportar el subconducto.

- En las curvas y esquinas se pueden necesitar poleas para proporcionar a los subconductos el soporte adecuado. Asegúrese de que las poleas tienen el diámetro requerido para acomodar los radios de curvatura mínimos del subconducto y del cable.
  - Todos los largos de las cintas de tendido y de los subconductos se conectan juntos, para proporcionar una medida continua de la longitud del tendido de cable.
  - Si se utilizan subconductos corrugados, no se debe cortar el cable inmediatamente. Después de que se ha completado el tendido, se debe dar al subconducto tiempo suficiente para recuperar su forma normal. Esto permitirá al subconducto la suficiente holgura para retraerse en el conducto.
  - Se deberá dejar una longitud suficiente de subconducto para el montaje y para permitir que se contraiga y dilate (ver las especificaciones del subconducto).
11. Atar el cable adecuadamente a la polea de arrastre y al eslabón giratorio. Asegurarse de que tanto la polea como el eslabón se pueden ajustar fácilmente a todos los conductos y subconductos.
  12. No usar una mordaza de cable entrelazado en lugar de una polea de arrastre (excepto cuando lo requieran las especificaciones, generalmente para tendidos a mano de pequeña longitud).
  13. Atar la cinta de arrastre instalada al eslabón giratorio.
  14. Ajustar, si se requiere, el radio de la polea y del cabrestante.
  15. Tirar del cable a mano tanto como sea posible. Para la mayoría de los cables, el arrastre a mano no requiere la monitorización de la tensión.
  16. Añadir lubricante generosamente al alimentador del cable y a cualquier posición intermedia.
  17. Si el tendido a mano es muy difícil, tirar del cable con el torno a baja velocidad. Evite los movimientos de vibración. Mantener las tensiones de arrastre muy por debajo de la máxima del cable. Se deberán monitorizar continuamente las tensiones del cable y grabar en una cinta registradora. El cable deberá ser alimentado desde el carrete o bobina, sin torsión.
  18. Girar el carrete del cable a mano, para mantener la suficiente holgura entre el carrete y el collar de alimentación.
  19. Evitar las acciones del tipo «tirar y parar». Se requieren tensiones mayores para comenzar a arrastrar un cable que para mantenerlo en movimiento.
  20. Si la tensión del cable se acerca al máximo permitido durante el tendido, parar el arrastre y chequear la ruta del cable por si hubiera alguna obstrucción. Bajos niveles de lubricante u otras dificultades pueden ser la causa de una tensión mecánica alta.
  21. Tras corregir el problema de la tensión del cable, recomenzar el tendido y monitorizar de cerca su tensión. Si la tensión del cable es todavía alta, parar el arrastre. Se pueden realizar las siguientes medidas para remediar el problema:
    - Inspeccionar de cerca cada curva. Asegurarse de que son suaves, sin obstrucciones o esquinas afiladas. Aumentar, si es posible, el radio de curvatura. Compruebe que todas las poleas giran fácilmente.

- Asegúrese de que el carrete alimentador del cable gira libremente, sin añadir tensión al cable.
  - Pruebe añadiendo, antes de cada curva, lubricante con una bomba de medio lubricante.
  - Disminuya la longitud de la ruta de tendido. Mueva la localización del arrastre al punto medio de la ruta y comience el arrastre de nuevo. Tire hacia fuera de la arqueta toda la longitud del cable y enróllela en el suelo. Use un patrón de enrollamiento de figura en 8, para evitar la torsión del cable. Mueva entonces de nuevo la localización de arrastre a su punto original, y tire del cable hasta el resto de la ruta del cable.
  - Alternativamente, utilice un segundo torno de arrastre para ayudar a tender, en una localización de una arqueta intermedia. Tire hacia fuera suficiente cable de fibra óptica para enrollar en la polea del segundo torno, alrededor de una a tres vueltas. Esto puede introducir de uno a tres giros completos en el cable.
  - Instalar poleas, si se requirieren, en la arqueta intermedia.
  - Coordine por radio las operaciones de arrastre con el torno.
  - Asegúrese de que hay siempre tres o más metros (diez o más pies) de holgura del cable saliendo fuera del torno intermedio, antes de volver a entrar en la arqueta.
  - El torno intermedio arrastrará el cable simultáneamente con el torno principal mientras mantiene de manera continua una vuelta o lazo de cable.
  - Monitorizar de cerca la tensión del cable en el torno intermedio.
  - Si se llega de nuevo a la máxima tensión de arrastre, se deberá mover la localización de arrastre más cerca de la arqueta de alimentación, hasta que el tendido se haya completado con éxito.
22. Cuando se para el tendido, se debería observar el cable en las arquetas intermedias, para asegurarse de que está suficientemente lubricado.
  23. Continuar el tendido hasta que se arrastre un trozo suficiente de cable (necesario para los empalmes fuera de la arqueta) a la arqueta de tendido. Puede que sea necesario tender más cable, por lo que debe almacenarse suficiente cable en la arqueta intermedia.
  24. Dependiendo del diseño de ingeniería, se deben dejar enrollados al menos seis metros (20 pies) de exceso de cable en cada extremo, para futuros empalmes y almacenamiento y para reparaciones de emergencia.
  25. Después de que se haya dejado en el extremo un trozo suficiente de cable, se debería cortar éste de la bobina (asegurarse de que se ha recibido la autorización precisa).
  26. Se debería examinar el cable con un OTDR para asegurarse de que no ha sido dañado en el proceso de tendido.
  27. Tras ser examinado el cable con éxito puede empezar su almacenamiento. Si se utiliza un subconducto, es mejor almacenar el subconducto en la arqueta sin cortarlo. Si el subconducto es demasiado rígido para ser almacenado, entonces, si fuera absolutamente necesario para el montaje, habría que cortar y eliminar el subconducto utilizando las herramientas adecuadas. Hay que tener cuidado de no hacer muescas, cortar o dañar la fibra óptica que lleva



FIGURA 8.8. Etiqueta de un cable de fibra óptica.

dentro. Almacenar el cable como sea requerido o pinzarlo en las paredes de la arqueta o en el techo. Situar el cable en el sitio más elevado posible de la arqueta. Puede que sea necesario dejar flojo el cable para arrastrar hacia atrás desde los extremos con el fin de almacenarlo. Se puede situar, como protección adicional, un conducto corrugado con ranuras alrededor del cable.

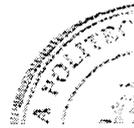
28. Antes de cortar el subconducto asegúrese de que se deja una longitud adecuada para permitir su dilatación. Se pueden usar los conectores finales de los subconductos para sellarlos frente a derrumbamientos (de trozos de rocas) e infiltración de agua.
29. Las etiquetas de los cables de fibra óptica se deben situar en el cable en cada arqueta, para así identificar el cable, el propietario y el número de teléfono del propietario (ver Fig. 8.8).

## 8.6. INSTALACIÓN AÉREA

Se puede realizar una instalación aérea atando el cable de fibra óptica a un fiador existente de acero o instalando un cable de fibra óptica autosoportado a lo largo de la distancia entre postes (ver Fig. 8.9).

Se debe extremar la cautela cuando se realiza una instalación aérea. Se deberá contactar con el personal adecuado para que estén en el lugar en el momento en que se vaya a trabajar cerca de las líneas de alta tensión. Las líneas maestras de seguridad para una instalación aérea incluyen:

- Se deben desconectar todas las líneas de potencia.
- No se deben instalar los cables cuando el ambiente sea húmedo.
- Los cables que se instalan cerca de las líneas de potencia de alta tensión se deben llevar a tierra, incluyendo los cables todo-dieléctrico.
- Se debe mantener en todo momento una distancia de seguridad entre el cable de fibra óptica y el cable de potencia. La instalación debe permitir el pandeo pro-



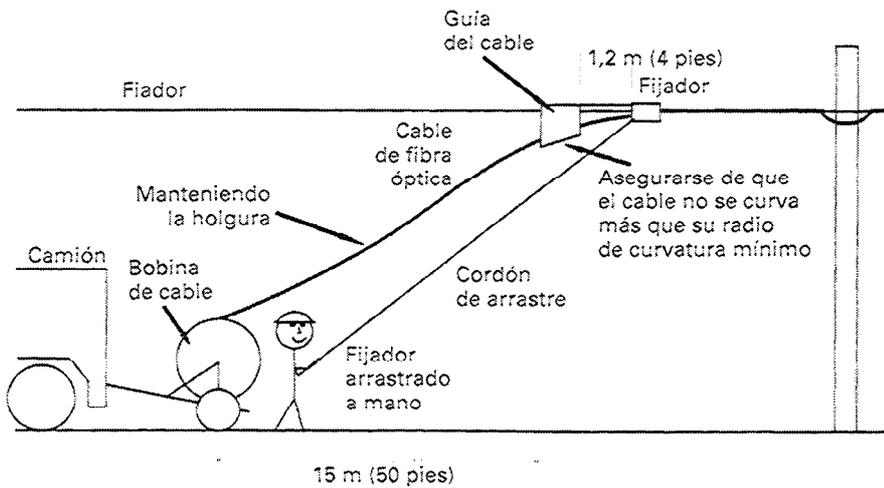


FIGURA 8.9. Montaje de fijación aérea.

vocado por el tiempo o por las condiciones de corriente de las líneas de potencia de alta tensión. La flexión del cable aumenta cuando el tiempo es cálido o cuando por el cable de potencia circula mucha corriente. Es frecuente que las líneas de potencia aéreas sean conductores desnudos.

- Asegurarse de que todo el personal ha sido preparado adecuadamente para trabajar en postes o torres eléctricas.
- Asegurarse de que el cable cumple las especificaciones de radiación de campo eléctrico.

Entre los postes se instala un fiador de acero, a la tensión y pando adecuado para soportar el cable de fibra óptica. Evitar el zigzag del fiador de un lado a otro del poste. Debe permanecer a un lado siempre que sea posible. El fiador deberá llevarse siempre a tierra apropiadamente.

Los cables de fibra óptica se colocan junto al fiador mediante camiones y trailers de bobinas de cable. Para asegurar el cable al fiador se utiliza una guía y un fijador de cables. Un camión con un cangilón o vagoneta aérea debería seguir al fijador con objeto de asegurar que el fijador está actuando correctamente y que el cable se está ajustando adecuadamente a las posiciones de la línea. Antes de comenzar una instalación, el cable de fibra óptica se debe llevar a tierra de manera apropiada.

En aquellos puntos donde la fibra se va a amarrar al fiador junto con otros cables ya existentes hay que asegurarse de que la máquina fijadora puede acomodar otros cables. En caso contrario, el cable se puede atar o fijar manualmente desde la vagoneta del camión.

El cable también se puede arrastrar entre los postes, a lo largo del fiador. Esto requiere que se utilicen bloques con ruedas en cada poste y a lo largo del devanado. La cuerda de arrastre se enrosca a los bloques y se ata al cable. Entonces, un torno

arrastra el cable de fibra óptica desde la bobina hasta el fiador, al tiempo que se monitoriza la tensión. Se puede utilizar este método en los cruces de autopistas, ríos o terrenos abruptos.

Una vez que el cable está en su lugar, se amarra al fiador. Para un cable autoportante hay que ajustar el pandeo (tensión) a las especificaciones de ingeniería y luego fijarlo al poste y a las abrazaderas de los extremos muertos.

Los cables de fibra óptica pueden entrar en un edificio por rutas aéreas o subterráneas. Los factores a considerar antes de instalar un cable son el número de cables, apariencia, radio de curvatura, ruta del cable dentro del edificio y seguridad.

En cada poste, el cable forma una *vuelta de expansión* para permitir la dilatación del fiador (ver Fig. 8.10). Debido a las propiedades de la fibra óptica de vidrio, un cable de fibra óptica se dilata o contrae muy poco cuando varía la temperatura. Por tanto, para reducir la tensión de un cable de fibra óptica que se haya unido a un fiador de acero, se añade una pequeña vuelta de expansión.

El tamaño de la vuelta de expansión está determinado por el diseño de ingeniería (la cantidad requerida para compensar la dilatación). En este punto debería tenerse en cuenta el radio de curvatura del cable. La longitud de la vuelta del lazo D en la Figura 8.10 debería ser dos veces mayor que su profundidad R. La longitud D también debería ser dos veces mayor que el radio de curvatura mínimo del cable.

Alrededor de la vuelta de expansión del cable y con objeto de identificarla, se suele colocar una cubierta espiral brillante. También se puede añadir, para identificar el cable, una etiqueta de cable de fibra óptica.

En la actualidad, hay en el mercado algunos cables de fibra óptica que no requieren lazos de expansión, siempre y cuando sean instalados siguiendo las especificaciones del fabricante. Los cables de fibra óptica autoportantes tampoco requieren lazos o vueltas de expansión.

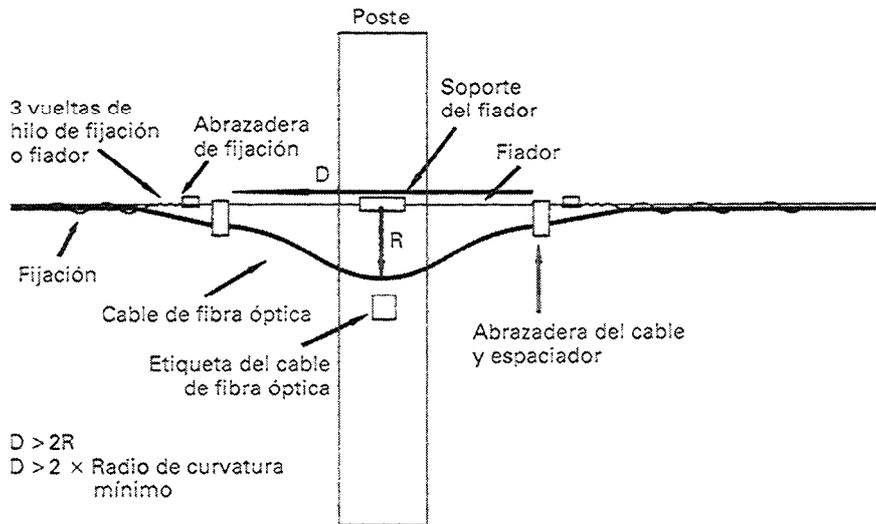


FIGURA 8.10. Lazo de expansión.

En los postes terminales donde el cable se lleva bajo tierra, y para proteger al cable de daños, se utiliza un conducto metálico a modo de conducto elevador a la torreta. Este conducto debe ser llevado a tierra de manera adecuada. Dependiendo del diseño de ingeniería, se dejan enrollados al menos 6 m (20 pies) de cable en cada extremo, para acometer futuros empalmes. Si se necesita un empalme en mitad de la ruta, la caja de empalmes a prueba de intemperie y el exceso de cable deberán instalarse en el fiador, como muestran las Figuras 19.2 y 19.3.

### Procedimiento de instalación aérea

1. Asegurarse de que se guardan todas las precauciones de seguridad.
2. Instalar el fiador con la tensión de comba adecuada y asegurarse de que se lleva a tierra adecuadamente.
3. Preparar el equipamiento como muestra la Figura 8.9. Instalar el cable guía y el fijador al fiador. El cable guía debería mantenerse 4 pies por delante del fijador con una barra rígida. Asegurarse de que la curvatura del canalón del cable guía es suave y mayor que el radio mínimo de instalación del cable. También se podría utilizar una polea de radio adecuado.
4. Elevar el cable hasta el cable guía y hasta el fijador. Mantener la bobina del cable al menos 15 m (50 pies) separada del fijador. Asegurarse de que el cable no se curva más pronunciadamente que su radio de curvatura mínimo.
5. Instalar el fijador y asegurarlo al fiador con una abrazadera.
6. Para mantener temporalmente el cable sobre el fiador, atar el cable al fiador en la abrazadera .
7. Ajustar el fijador para una operación adecuada.
8. Fijar un cabo de tiro al fijador. Debería tirarse del cabo de tiro del fijador a mano.
9. Comenzar la operación de estirar a mano tirando del fijador a una velocidad constante y conduciendo el vehículo que lleva el carrete de tal manera que esté a 50 pies del fijador. Mantener una ligera tensión sobre el cable y mantener el carrete del cable por debajo del fiador en todo momento. Asegurarse de que se mantiene en todo momento el radio de curvatura adecuado del cable. No permita que el cable de fibra óptica se enrolle alrededor del fiador.
10. Siempre y cuando se alcance un poste debería detenerse el tendido. Se desconectan el fijador y la guía y se mueven al otro lado del poste. El hilo del fijador se termina con una abrazadera y se forma con el cable un lazo de expansión (si se requiere).
11. Una vez que se han situado el fijador y la guía en el otro lado del poste y se ha completado el lazo de expansión (como muestra la figura 8.10) se continúa con la operación del fijador.
12. Instalar donde se requieran etiquetas de aviso de cable de fibra óptica.

# Capítulo 9

## INSTALACIONES DE CABLE EN INTERIORES

---

### 9.1. CONDUCTOS Y BANDEJAS DE CABLES

---

Los cables de fibra óptica se pueden instalar en un conducto existente en el edificio o en una red de bandejas de cables. En zonas congestionadas, puede ser apropiada la utilización de un conducto o una bandeja dedicados exclusivamente al cable. Para aquellas situaciones en las cuales los conductos no son prácticos, se pueden instalar en su lugar cables de fibra óptica con armadura e ignífugos. La armadura proporciona al cable una resistencia buena al aplastamiento y se elimina el coste de instalar conductos o bandejas de cable. Sin embargo, un cable de fibra óptica blindado es más caro, y el enlace pierde todas sus propiedades como dieléctrico.

Los conductos y las bandejas de cable deben cumplir todas las restricciones mecánicas impuestas por un cable de fibra óptica. La condición crítica es el radio de curvatura. Si se va a tender un cable dentro de un conducto o una bandeja, el radio de curvatura del conducto debe ser mayor que el radio de curvatura mínimo del cable en condiciones de carga. Si se coloca un cable en una bandeja y no se estira, entonces la curvatura de la bandeja puede ser tan pronunciada como el radio de curvatura mínimo del cable sin cargar (ver Capítulo 7). Todos los dobleces deben seguir curvas suaves. Los cables que se coloquen en bandejas deberán reposar sobre una superficie plana a lo largo de toda la longitud de la bandeja. Si se van a apilar otros cables sobre uno de fibra óptica, deberá utilizarse un cable armado de alta resistencia al aplastamiento o añadir un *conducto ranurado*, para una mayor protección. Un conducto ranurado es un conducto de pequeño diámetro, flexible, con una ranura longitudinal a lo largo de toda su longitud. Esto permite situar el conducto fácilmente sobre el cable, después de que éste se haya colocado en su lugar. La protección añadida ayudará a reducir el daño potencial derivado de los puntos de presión que actúan sobre el cable. Todos los ajustes de los conductos y bandejas de cables se deben realizar cuidadosamente, para

asegurar que en ningún momento el cable esté sometido a curvas o esquinas muy pronunciadas.

Los conductos deberán ser dimensionados para garantizar los requerimientos de las instalaciones de cable presentes y futuras. Una razón de llenado del 50 por 100 (por área transversal) es una buena regla para buscar el mínimo diámetro del conducto (ver Fig. 8.3). Por ejemplo, un cable de 0.6 pulgadas de DE se puede instalar en un conducto de una pulgada de DI (dimensionado para la instalación de un único cable). Para rutas largas o instalaciones con muchas vueltas, un conducto de diámetro mayor puede reducir las tensiones de tendido.

Utilice sólo conductos ignífugos. Cuando se hagan pasar los conductos a través de paredes de fuego, asegúrese de que después de la instalación se usa un precinto adecuado para la pared de fuego. Los conductos también deberán ser sellados para prevenir la humedad, el polvo o la circulación de humo.

*Nota de precaución:* antes de taladrar cualquier suelo, pared o tejado, asegúrese de que el taladro no haga contacto ni corte ningún cable empotrado de tensión, cables eléctricos, cañerías, conductos u otros objetos. En construcciones de albañilería o de otro tipo, puede que se requieran rayos X del área taladrada, para verificar la presencia de un camino taladrado limpio y sin obstrucción.

## 9.2. CAJAS DE TRACCIÓN

Las *cajas de tracción o tendido* se utilizan para evitar longitudes de conducto grandes, con objeto de facilitar el arrastre y rebajar las tensiones de tracción. Se sitúan generalmente en las curvas o cerca de ellas y en largos tramos rectos. Una buena norma a seguir es instalar, al menos, una caja de tracción después de la segunda curva a 90 grados y en tramos largos de conductos. La longitud en línea recta de una caja de tracción debería ser, al menos, cuatro veces el radio de curvatura mínimo del cable (ver Fig. 9.1). La longitud de una caja de tracción para esquinas debería ser al menos tres veces el

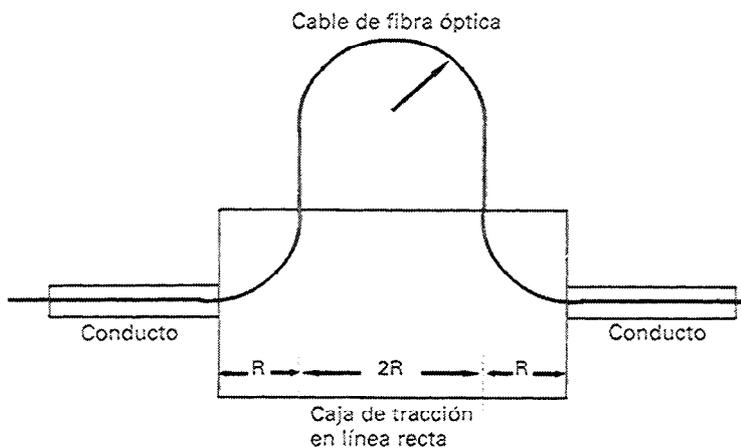


FIGURA 9.1. Caja de tracción en línea recta.

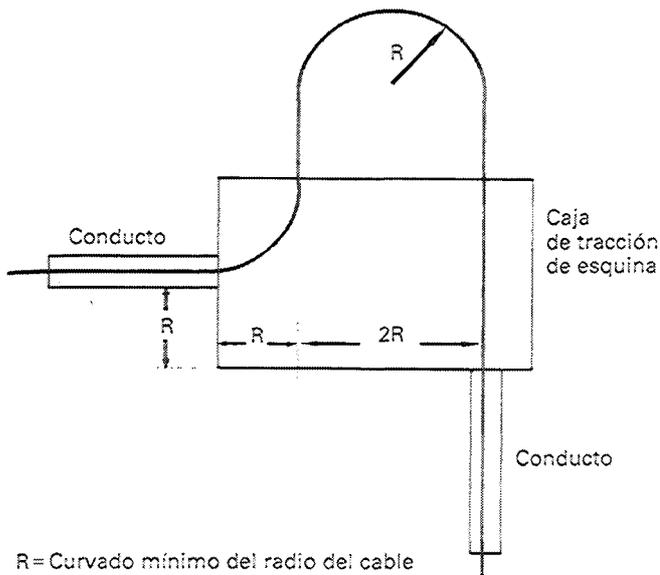


FIGURA 9.2. Caja de tracción de esquina.

radio de curvatura del cable y de una profundidad hasta el conducto de al menos un radio (ver Fig. 9.2). Cuando se tira del cable hacia afuera de las cajas de tracción, asegúrese de que no se compromete el radio de curvatura mínimo del cable. Cuando se tira de un cable a través de una caja de tracción de esquina, en primer lugar se debe tirar del lazo (ver Fig. 9.2). La esquina afilada de la caja de tracción puede dañar fácilmente el cable y las fibras.

### 9.3. INSTALACIONES VERTICALES

En las instalaciones verticales el peso del cable crea por sí mismo una tensión de carga sobre él. Esta carga no debería exceder la carga de tensión máxima del cable permitida para una instalación permanente. La máxima elevación vertical de un cable está especificada y no debería excederse. Tanto la carga del cable como las condiciones de elevación deberán mantenerse por debajo de las especificaciones del fabricante. La sujeción de un cable vertical a un soporte en puntos intermedios puede reducir la carga de tensión del cable. La fuerza de sujeción no debe de ser mayor que la requerida para evitar que el cable resbale. En ningún modo se debe deformar el cable. Las abrazaderas del cable, para evitar dañarlo, deben tener una superficie uniforme y suave.

Si no es posible la sujeción a lo largo del cable, se pueden utilizar soportes colgantes para suspender el cable, bien al final de las alzadas o en puntos intermedios. Se deben seleccionar soportes colgantes que no dañen o deformen el cable. Una elección bastante popular en estas instalaciones es el manguito mallado o soporte colgante de manguito mallado (como muestra la Fig. 9.3).

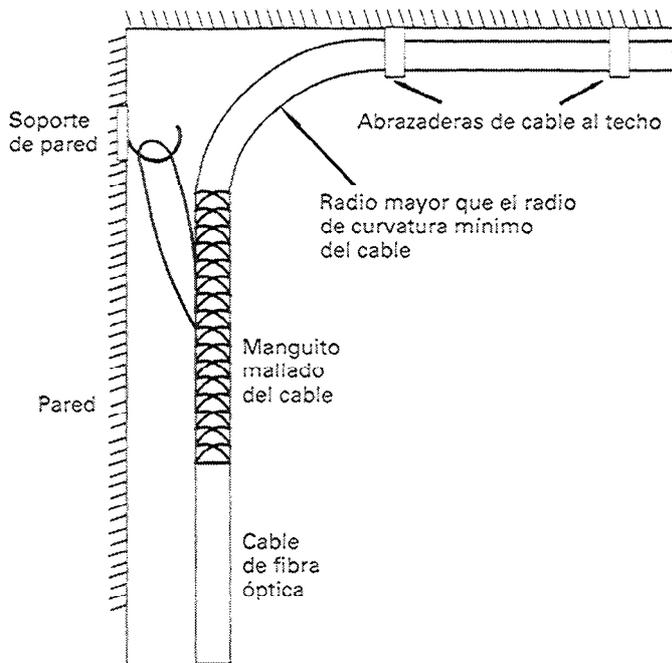


FIGURA 9.3. Manguito mallado del cable.

Una vez que el manguito mallado se ha situado en el cable, se le puede dar rigidez con objeto de proporcionar un soporte efectivo sin deslizamientos. Entonces se engancha a un soporte que cuelga de la pared. Asegúrese de que la curvatura del cable en la parte de arriba del tendido del cable es mayor que el radio de curvatura mínimo.

Para instalaciones verticales se usa frecuentemente un cable de estructura ajustada debido a su capacidad específica para grandes elevaciones verticales. Todos los cables interiores deberían cumplir o exceder las normativas contra el fuego.

#### 9.4. RECORRIDO EN LOS EDIFICIOS

Cuando un cable de fibra óptica de exteriores entra en un edificio, se debería empalmar a un cable de interiores cerca de la entrada del cable. En ese punto se puede usar una caja de empalmes o un panel de conexiones, que puede manejar varios cables para su distribución. Esto proporciona un punto común de distribución de fibra óptica dentro del edificio y permite que se puedan utilizar, a lo largo del edificio, cables de interiores de protección apropiada frente al fuego. Los cables de exteriores suelen ser muy rígidos y pesados, y son difíciles de instalar en los pasajes estrechos del edificio. Esta localización es también buena para comenzar a instalar el cable exterior. Tanto la caja de empalmes como el panel de conexiones, el conducto y el cable deberían llevarse a tierra adecuadamente.

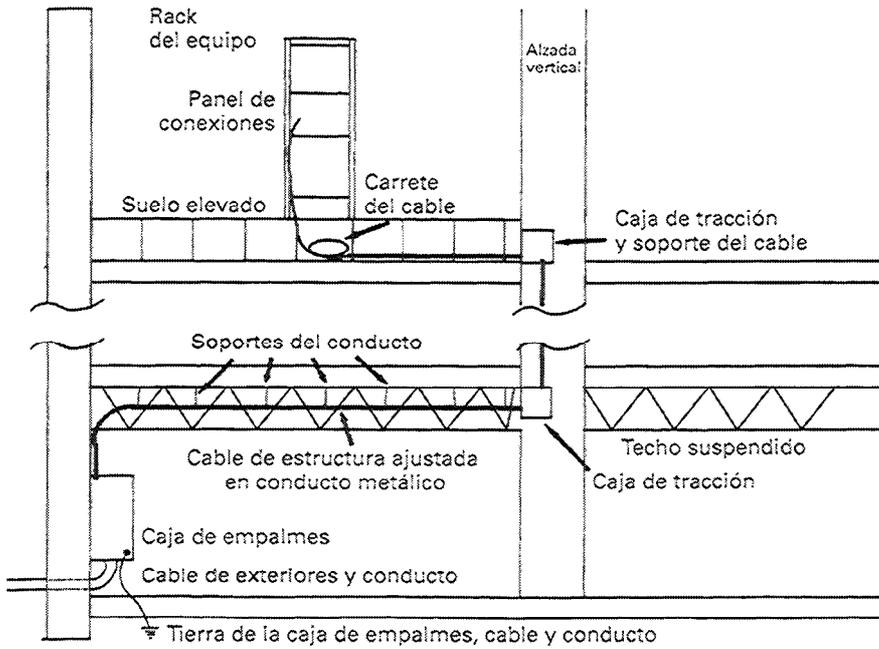


FIGURA 9.4. Ejemplo de la ruta del cable.

Como muestra la Figura 9.4, el cable de interiores va desde la caja de empalmes hasta el panel de conexiones del equipo situado en un piso superior. El cable está situado normalmente en un conducto o bandeja ignífuga a lo largo de toda la ruta interior. El conducto se puede dimensionar como muestra la Figura 8.3 o sobredimensionar para acomodar futuros cables. En algunos casos, el uso de conductos puede ser prohibitivo y en su lugar se puede utilizar un cable blindado ignífugo (sólo cable todo-dieléctrico).

Las rutas horizontales del cable se pueden situar sobre techos suspendidos o bajo suelos elevados. El conducto, la bandeja del cable o el cable se fijan al suelo o al techo mediante abrazaderas adecuadas y etiquetados como «Cable de Fibra Óptica» (ver Fig. 8.8).

Las alzadas verticales de cable en edificios altos se llevan a cabo en armarios elevadores. Cuando no se dispone de armarios elevadores, se taladran agujeros en el suelo para guiar el cable o conducto. El cable puede entrar al armario o rack destinado al equipamiento óptico a través de la parte inferior o superior. Por debajo o por encima del rack, se pueden dejar algunas vueltas de exceso de cable de fibra óptica, para permitir mover o reemplazar en el futuro el rack o el panel de conexiones.

Antes de cortar el exceso de cable de fibra óptica se debería recibir la autorización oportuna. Deberían dejarse al menos 6 metros (20 pies) de cable en cada extremo, para acometer futuros empalmes o terminaciones. Si es necesario se puede dejar más cable sin cortar.

## 9.5. PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DEL CABLE

---

El tendido de un cable de fibra óptica en interiores se realiza generalmente a mano. Se puede añadir lubricante en tendidos difíciles, o cuando el cable se coloca junto a otros cables ya presentes.

### Procedimiento

Respetar todos los procedimientos de seguridad establecidos y proceder como sigue:

1. Identificar y abrir todas las cajas de tracción, conductos y bandejas de cable, y asegurarse de que no están obstruidas y de que cumplen todos los requerimientos del cable de fibra óptica (ver secciones 9.1 y 9.2).
2. Si se va a situar el cable de fibra óptica en conductos o en bandejas de cables que contienen cables, deberían identificarse los cables existentes e informar de la instalación a los propietarios de los cables. Se debería identificar todo lo que concierne a seguridad.
3. Se instala en la ruta completa del conducto-bandeja un tramo continuo de cinta de tracción.
4. Antes de proceder a la instalación, debería probarse el cable de fibra óptica, para asegurarse que es aceptable (ver capítulo 14).
5. Atar al cable el orificio de tendido y el eslabón giratorio. Asegurarse de que tanto el orificio de tendido como el conjunto del eslabón giratorio no tienen esquinas afiladas y se puedan fijar fácilmente a lo largo de todos los conductos, cajas de tracción y bandejas de cable.
6. Atar la cinta de tracción instalada al eslabón giratorio.
7. Tirar a mano del cable a lo largo de la primera sección del conducto-bandeja y fuera de la primera caja de tracción. Asegúrese de que las torceduras del cable son mayores en todo momento que el radio de curvatura mínimo del cable. Añada lubricante si es necesario, evite dar sacudidas o tirones, y no empuje el cable en ningún momento.
8. Enrolle el cable sobre el suelo, formando una figura en 8 para evitar torsiones. Continúe con la tracción del cable hasta que se halle tendido todo el cable a lo largo de la primera sección.
9. Vuelva a alimentar de cable la caja de tracción y tienda el cable hasta la siguiente caja. Continúe este procedimiento hasta que se haya instalado todo el cable. Cuando se vuelva a alimentar con cable la caja de tracción, asegúrese de que no se compromete el radio de curvatura mínimo del cable.
10. Si se encuentran bandejas de cable en la ruta, en vez de seguir tendiendo el cable se puede acomodar el cable en ellas.
11. Continúe este proceso (pasos 1 a 10) hasta que se haya instalado por completo todo el cable en la ruta del conducto-bandeja.
12. Dependiendo del diseño de ingeniería, se deberían dejar enrollados al menos 6 metros de cable (20 pies) para empalmes futuros y conexiones a armarios.
13. Finalmente, se debería probar el cable de fibra óptica, para asegurarnos de que durante la instalación no ha sufrido ningún daño.

# Capítulo 10

## EMPALMES Y TERMINACIÓN

---

### 10.1. CAJAS DE EMPALMES

---

Las *cajas de empalmes* se utilizan para proteger del entorno tanto el cable de fibra óptica pelado como los empalmes. Hay cajas para montajes interiores y exteriores. La de tipo exterior debería ser a prueba de intemperie y con un sellado impermeable. La Figura 10.1 muestra una caja de empalme típica montada en pared.

El cable de fibra óptica se mantiene sujeto mediante abrazaderas y el miembro de refuerzo se amarra fuertemente al soporte de la caja. Los miembros de refuerzo metálicos se llevan a tierra.

La envoltura de la fibra se detiene en las abrazaderas de la caja de empalmes. Los tubos de fibra óptica, las fibras individuales con protección gruesa o los latiguillos se fijan por medio de las palomillas y continúan hasta las bandejas de empalme. Las fibras ópticas individuales no deberían estar expuestas. Hoy en día los empalmes están contenidos en bandejas de empalme.

### 10.2. BANDEJAS DE EMPALME

---

Las bandejas de empalme (Fig. 10.2) se usan para proteger y mantener los empalmes individuales tanto mecánicos como por fusión. Hay bandejas disponibles para muchos tipos de empalmes, incluyendo varios empalmes mecánicos con marca registrada, empalmes por fusión desnudos, empalmes por fusión con funda termorretráctil, etc. La bandeja de empalme debería adaptarse al tipo de empalme realizado. Por ejemplo, una bandeja de empalme diseñada para alojar un empalme mecánico no debería albergar un empalme por fusión desnudo.

Las bandejas del empalme pueden ser sensibles a la longitud de onda óptica.



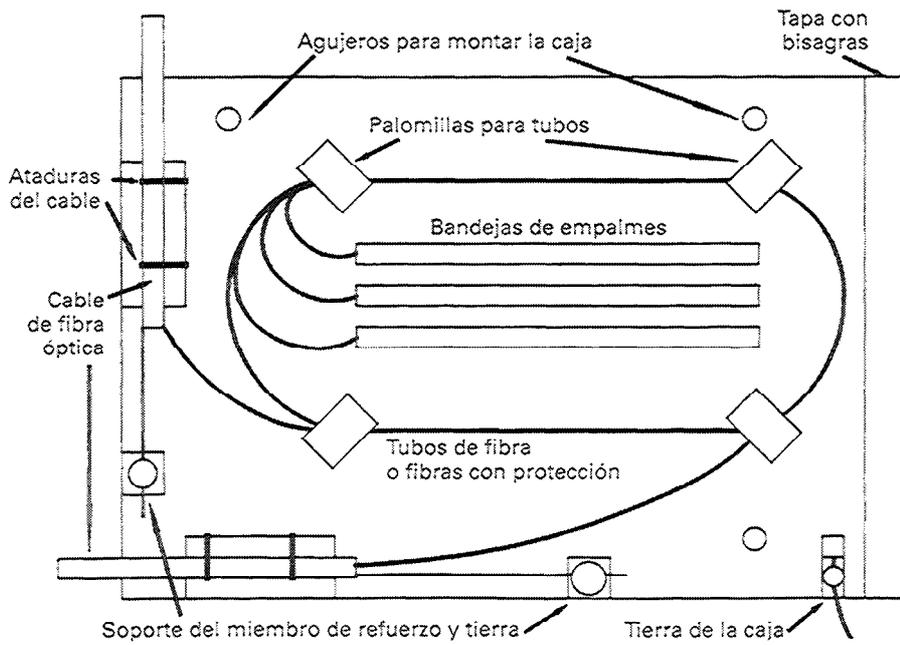


FIGURA 10.1. Caja de empalmes montada en pared.

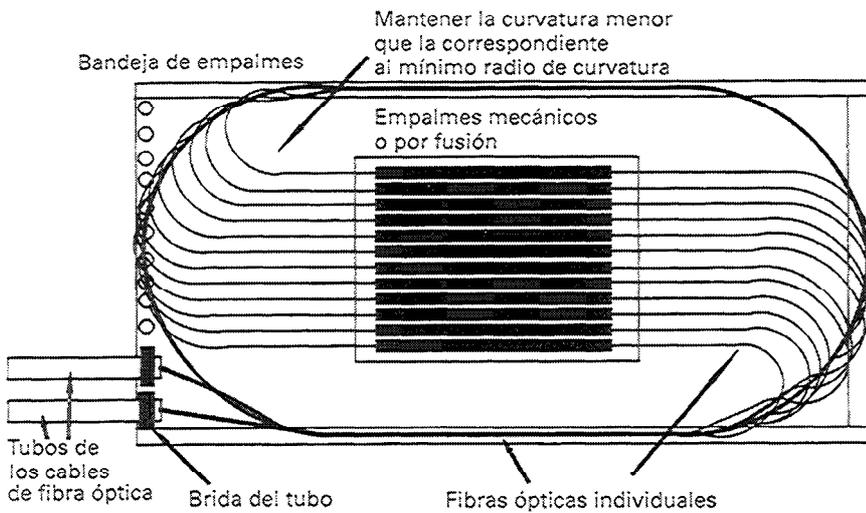


FIGURA 10.2. Caja de empalmes.

Una bandeja de empalme diseñada para 810 nm puede causar una atenuación adicional a una longitud de onda de 1.550 nm. Debería especificarse siempre la longitud de onda óptica de operación a la hora de comprar las bandejas.

Las bandejas de empalme normalmente dan cabida hasta 12 empalmes y un gran número de ellos se usan juntos para empalmar un cable largo de fibra. Todas las fibras de la bandeja terminan en el tubo de protección del cable. Si es necesario desviar algunas fibras a una bandeja diferente deberían usarse divisores de tubo adecuados. No deberían exponerse las fibras sin protección fuera de la bandeja de empalmes. Cuando se monte el empalme en la bandeja se deberá trabajar con cuidado. El radio de curvatura de las fibras individuales se debería mantener tan grande como fuera posible (mayor que el mínimo radio de curvatura del cable).

### 10.3. PANELES DE CONEXIÓN

Un *panel de conexión de fibra óptica* (Fig. 10.3) termina el cable de fibra óptica y permite que el cable sea conectado al equipamiento mediante cordones de conexión de fibra óptica. Suministra un punto de acceso al equipamiento y a la planta de cable de fibra. Las fibras individuales pueden interconectarse, probarse o intercambiarse rápidamente entre el equipamiento óptico. Los paneles de conexión permiten también un etiquetado fácil de las fibras y proporcionan un punto de demarcación del enlace.

El panel de conexión se diseña con dos compartimentos: uno contiene los receptáculos de cabecera o adaptadores y el segundo se usa para la bandeja de empalmes y

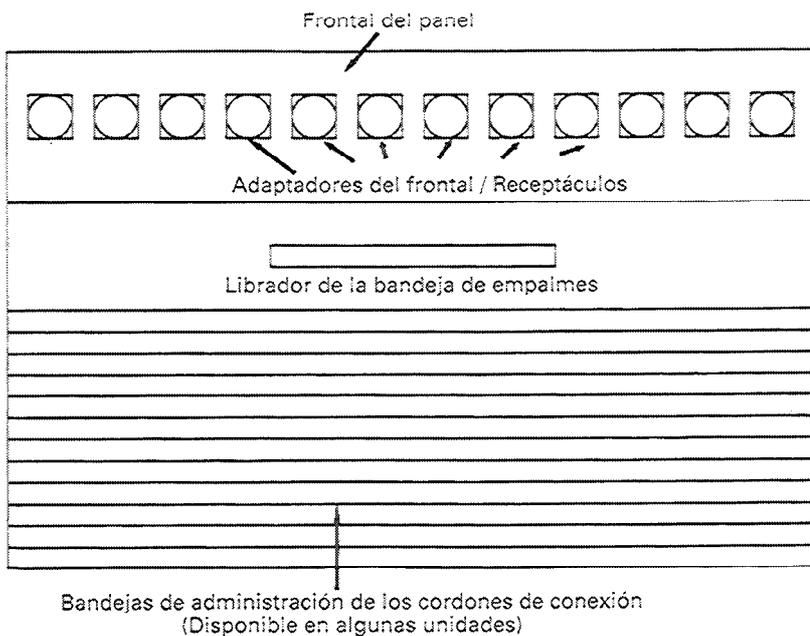


FIGURA 10.3. Panel de conexiones.

el almacenamiento del exceso de fibra. Las bandejas de administración de los cordones de conexión son opcionales para algunos paneles de conexión y hacen posible el almacenamiento ordenado de longitudes excesivas de cordones de conexión.

Los paneles de conexión se encuentran disponibles en versión de montaje en pared o montaje en rack y se sitúan frecuentemente cerca del equipo terminal (dentro del alcance del cordón de conexión).

Si se montan en un rack se debería considerar la localización vertical. Se debería dejar el suficiente espacio por encima y por debajo del panel para que los cables de fibra óptica entren en la caja. Puede que el montaje del equipamiento en este área no sea posible debido a los cables. A la hora de terminar el cable en los paneles de conexión, debería tenerse siempre en cuenta el mínimo radio de curvatura del cable.

El *panel de cabecera* o frontal del panel de conexión contiene el *adaptador* (también conocido como *receptáculo*). El adaptador permite al conector del cable aparearse con el conector apropiado del cordón de conexión. Proporciona una conexión de bajas pérdidas ópticas después de muchas conexiones (ver Fig. 10.4).

El cable de fibra óptica en un panel de conexión se puede acabar mediante las técnicas de terminación de fibra con latiguillos o con conectores instalables *in situ* (ver Fig. 10.5; ver también sección 10.5). La técnica de terminación con latiguillo requiere hacer un empalme y usar una bandeja de empalmes. Sin embargo, esta técnica proporciona mejor conexión y generalmente es más rápida de completar.

La técnica del conector instalable *in situ* lleva más tiempo pero no requiere empalme ni bandeja, por lo que reduce el coste material. Esta técnica es de uso frecuente en cables con protección ajustada.

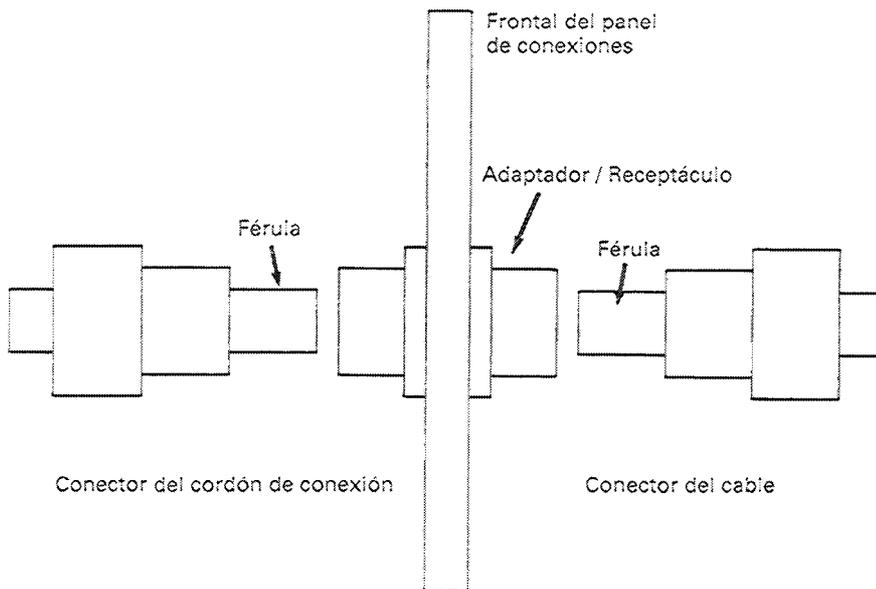


FIGURA 10.4. Frontal y adaptador.

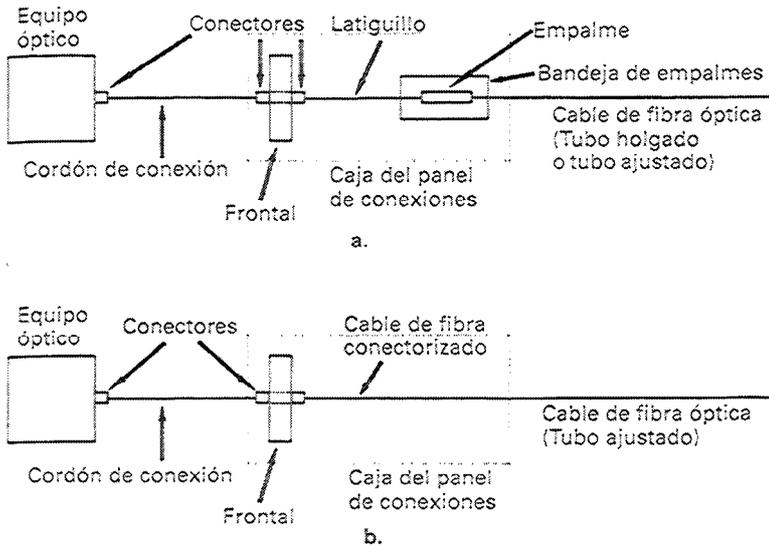


FIGURA 10.5. Terminación del cable del panel de conexiones.

Antes de hacer cualquier conexión de un cable de fibra asegúrese de que todos los conectores y receptáculos están limpios. Las conexiones deberán ser ajustadas únicamente con los dedos. Durante la conexión nunca debe rotarse la fibra.

#### 10.4. EMPALME

El *empalme* de fibra óptica es la técnica que se utiliza para unir permanentemente dos fibras ópticas en una conexión de bajas pérdidas. Esta conexión se puede realizar usando uno de estos dos métodos: empalme por fusión o empalme mecánico.

El empalme por fusión proporciona la conexión de pérdidas más bajas. Para realizar el empalme de la fibra esta técnica utiliza un dispositivo denominado *empalmadora de fusión*. La empalmadora de fusión alinea con precisión las dos fibras, generando un pequeño arco eléctrico para soldar las dos fibras.

Una buena empalmadora de fusión proporcionará empalmes consistentes, con bajas pérdidas, generalmente menores que 0,1 dB para fibras monomodo o multimodo. Sin embargo, tales empalmadoras son bastante caras y voluminosas y pueden ser difíciles de manejar. Para una operación correcta se requiere generalmente que el fabricante imparta un curso de entrenamiento sobre empalmes.

*Una nota de precaución:* La chispa eléctrica generada por la empalmadora de fusión puede causar una explosión en presencia de gases inflamables. Las empalmadoras por fusión no deberían utilizarse en arquetas o espacios confinados que pudieran contener gases inflamables.

El empalme mecánico es una técnica alternativa de empalmado que no requiere una empalmadora de fusión. Utiliza un pequeño empalme mecánico, aproximadamente de 6 cm de largo y de 1 cm de diámetro que une permanentemente las dos

fibras ópticas. Un *empalme mecánico* es un conector de fibra pequeño que alinea dos fibras desnudas de manera precisa y que las asegura mecánicamente. Para amarrar permanentemente la unión se utilizan cubiertas con resorte (*snap*), cubiertas adhesivas o ambas. Hay disponibles empalmes mecánicos para fibras monomodo o multimodo, pero con mayores pérdidas por empalme que las del empalme por fusión (generalmente menores que 0,5 dB). Son pequeños y fáciles de usar y convenientes para reparaciones rápidas o instalaciones permanentes. Se encuentran disponibles en versiones o tipos permanente y reentrante. Las pérdidas de conexión de los empalmes mecánicos son mayores que las de los empalmes por fusión y están en el rango comprendido entre 0,1 y 0,8 dB.

El empalme de una fibra óptica se lleva a cabo quitando la cubierta con una herramienta diseñada para ello, con objeto de exponer los tubos de fibra o las fibras individuales con protección. El tubo o la protección se quitan para dejar las fibras individuales únicamente con su cubierta. Hay que eliminar cuidadosamente cualquier gel que se encuentre en los tubos o en las fibras. Para dejar al descubierto el revestimiento de la fibra debería eliminarse cada vez un trozo pequeño de cubierta (1 cm o menos). A continuación se corta la fibra y se empalma. El proceso de pelado necesita herramientas especiales de mano, que se diseñan para no hacer muescas en las fibras o dañarlas.

El *corte* de una fibra proporciona una superficie uniforme y perpendicular que permitirá la máxima transmisión de luz a la otra fibra. Generalmente, una alta atenuación en un empalme se debe o bien a un mal empalme o a un mal corte de la fibra. Se recomienda una herramienta de corte de buena calidad.

Las fibras ópticas se pueden empalmar con una empalmadora de fusión o con una unión mecánica. Una vez terminado el empalme, se almacena en una caja de empalmes. Ésta protege el empalme y las fibras expuestas, y proporciona si fuera requerido un medio de acceso al empalme. Para cables con un número pequeño de fibras y cuando se usa un cable de fibra óptica grueso con protección ajustada, se pueden instalar los conectores directamente en la fibra óptica del cable, sin necesidad de empalmar ni usar cajas de empalmes.

El empalme de un cable en exteriores se lleva a cabo frecuentemente en una furgoneta de empalmes, para proteger del entorno tanto la fibra expuesta como el equipamiento. También evita que las herramientas, el equipo y las fibras se vean sometidos a la acción del viento.

Durante la instalación de un cable, es importante dejar suficiente sitio para que el cable de fibra óptica y la caja de empalmes puedan llevarse dentro de la furgoneta. Todo empalme se debería hacer en una mesa larga y limpia, con mucho espacio para el equipamiento de empalme y los cables. Un equipo de empalme está formado típicamente por dos técnicos: un empalmador y un operario que maneje el OTDR o el medidor de potencia óptica.

## Juego de herramientas de empalme

- Regla
- Solución de limpieza de alcohol
- Solución de limpieza de gel de cable

Bastoncillos de algodón, sin residuos  
 Pañuelos de papel, sin residuos  
 Cortadora de fibra  
 Peladora de recubrimiento de la fibra  
 Peladora del tubo y de la protección de la fibra  
 Peladora de la cubierta de la fibra (especificar el tamaño de la cubierta)  
 Una navaja  
 Unas cuchillas diagonales (utilizadas para cortar el cable o las fibras a un tamaño adecuado)  
 Tijeras  
 Lija  
 Pinzas (para manejar los trozos de fibra cortada)  
 Contenedor con tapa (para almacenar los trozos cortados de fibra)  
 Guantes (para proteger las manos de las soluciones de limpieza)  
 Protectores de empalme (para los empalmes por fusión)  
 Empalmes mecánicos o empalmadora de fusión  
 Bandeja de empalmes y panel de conexiones o caja  
 OTDR o medidor de potencia y fuente de luz  
 Mesa larga y sillas

### Procedimiento de empalme

1. Determine las asignaciones exactas de las fibras ópticas a conectar. Identifique todas las fibras ópticas. Planee la ruta exacta de las fibras en las cajas de empalmes desde la entrada del cable a la bandeja de empalme. Asegúrese de que la bandeja de empalme está equipada con los soportes de fibra adecuados: mecánicos, fusión desnuda, retráctil por calor, plegado, etc.
2. Pele aproximadamente 2 metros de la cubierta exterior del cable (6.6 pies) para exponer los tubos de fibra o las fibras con protección (la longitud exacta variará para los diferentes tipos de cajas de empalme). Utilice el hilo de desgarre para cortar la cubierta a lo largo. A continuación, pele cuidadosamente el cable y exponga el interior. Si no hay disponible hilo de desgarre, pele cuidadosamente la cubierta con una herramienta de pelado o una navaja, y asegúrese de que los tubos de fibra óptica o las protecciones no se hayan dañado. Corte el exceso de cubierta. Limpie todo el gel del cable de los tubos y protecciones expuestos con la solución de limpieza del gel del cable. Separe los tubos y las protecciones cortando cuidadosamente cualquier hebra o envoltura. Deje suficiente longitud del miembro de refuerzo para asegurar adecuadamente el cable a la caja de empalme (ver Fig. 10.6).
3. Para un cable de tubo holgado, pele alrededor de un metro de tubo de fibra usando un pelador del tubo protector y exponga las fibras individuales. La longitud de pelado exacta variará de acuerdo con las diferentes técnicas de pelado y bandejas de empalme. Para un cable de estructura ajustada asegúrese de que las fibras individuales con sus protecciones de 900 micras quedan expuestas y holgadas. Sea cuidadoso para no dañar las fibras ópticas.

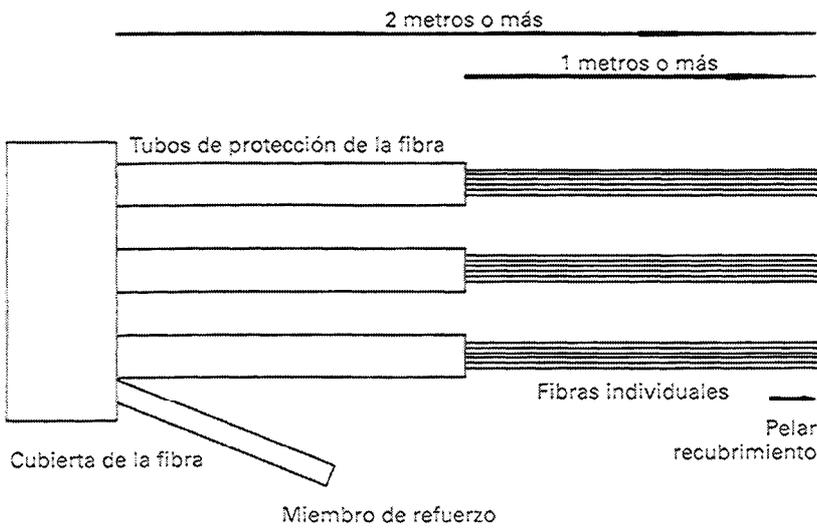


FIGURA 10.6. Longitudes de pelado del cable.

4. Limpie cuidadosamente todas las fibras de cualquier gel que pudiera estar presente en el cable, con el limpiador de gel apropiado. Utilice guantes para proteger sus manos de la solución de limpieza.
5. Identifique la fibra que se va a empalmar. Utilizando el pelador de recubrimiento adecuado, elimine suficiente recubrimiento de manera que queden

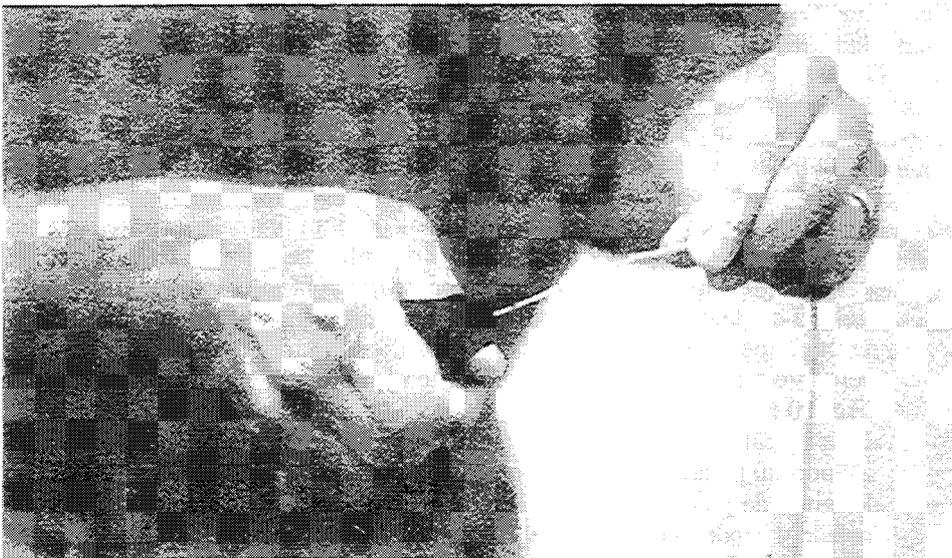
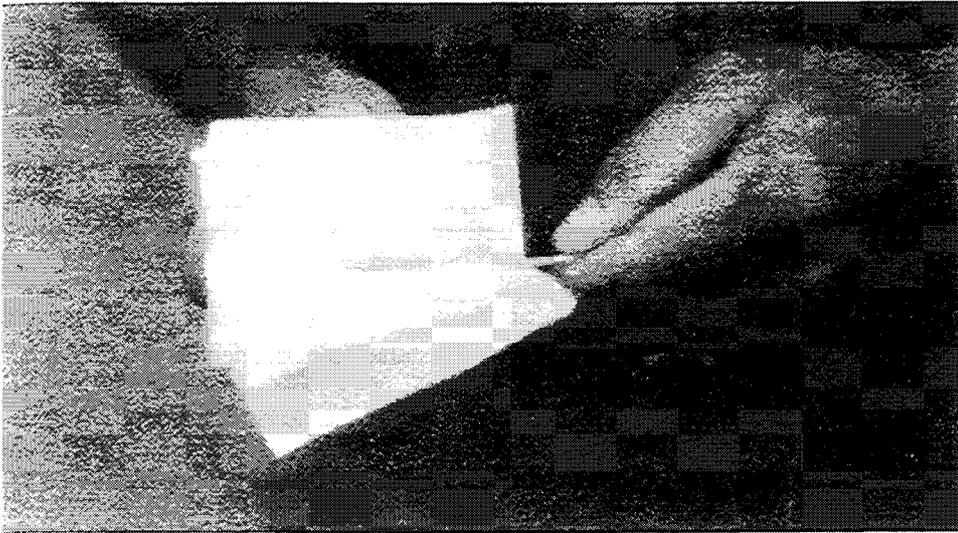


FIGURA 10.7. Técnica de pelado de la fibra óptica.



**FIGURA 10.8.** Técnica de limpieza de la fibra óptica.

expuestos alrededor de 5 cm de fibra desnuda. Para un cable de estructura ajustada elimine primero 5 cm de la protección con una herramienta de pelado de protección de 900 micras y luego elimine 5 cm de recubrimiento con la herramienta de pelado de recubrimiento. La longitud es aproximada y depende de los requerimientos de la cortadora y del método de empalme. Para mantener en la mano con seguridad una pequeña fibra mientras se pela, ráspele con un trozo pequeño de lija doblada. Mantenga siempre la herramienta de pelado del recubrimiento perpendicular a la fibra mientras la esté pelando (ver Fig. 10.7).

6. Limpie con cuidado la fibra desnuda frotándola en una dirección con una gasa y alcohol libre de residuos (ver Fig. 10.8). Se recomienda la utilización de guantes para proteger las manos de la solución de limpieza. Tras limpiar, no toque con los dedos la fibra desnuda; evite que toque cualquier superficie.
7. Prepare la herramienta de cortar y ajuste la longitud de corte que se requiera para la técnica de empalme (vea las instrucciones de empalme y fabricante).
8. Utilice la herramienta de corte y seccione la fibra para obtener una superficie perpendicular. Todas las fibras que se vayan a empalmar deben ser cortadas con una herramienta de corte. Utilizando las pinzas, deposite inmediatamente el trozo cortado de fibra en un contenedor con tapa diseñado para este propósito. (¡Cuidado! Póngase gafas de seguridad durante el proceso de corte).
9. Igualmente, pele, limpie y corte la otra fibra óptica que se vaya a empalmar.
10. (a) Para el empalme por fusión, sitúe un protector de empalme, si se utiliza, en una de las fibras que se vayan a empalmar. Sitúe ambas fibras en la empalmadora de fusión y siga las instrucciones de empalme de la misma. Un

buen empalme será fuerte mecánicamente y tendrá unas pérdidas de unión menores que 0,1 dB como indica la empalmadora de fusión (el valor del empalme dependerá de las especificaciones de diseño de ingeniería). Proteja el empalme con el protector de empalme (usualmente de tipo termorretráctil o plegable).

10. (b) Para un empalme mecánico, sitúe y alinee las fibras en el conector mecánico. Siga el procedimiento de empalme del fabricante. Un buen empalme dará unas pérdidas por unión inferiores a las especificadas por el fabricante (típicamente menores que 0,7 dB) y será mecánicamente fuerte. Para evitar que la fibra se rompa debido a un esfuerzo de torsión, asegure si es posible el tubo de la fibra en la bandeja de empalmes y luego dé vueltas a la fibra en la bandeja de empalmes para crear una instalación permanente antes de empalmar.
11. Tras completar el empalme, colóquelo con cuidado en la bandeja de empalmes y dé vueltas a la fibra alrededor de sus guías. Asegúrese de que no se compromete el mínimo radio de curvatura de la fibra y mantenga todos los dobleces tan suaves y largos como sea posible.
12. En este punto se puede realizar una prueba del empalme con el OTDR (o con el medidor de potencia) mientras el equipo de empalme está todavía en el lugar. Rehaga el empalme si fuera necesario.
13. Identifique los siguientes dos cables que se vayan a empalmar y empiece el proceso de nuevo en el paso cinco.
14. Después de que hayan sido empalmadas todas las fibras asegure cuidadosamente los tubos de fibra, o los manojos protegidos, a la bandeja de empalme. Enrolle la longitud extra de las fibras individuales alrededor de las guías de la bandeja de empalmes como se muestra en la Figura 10.2. Cierre la bandeja de empalme y colóquela dentro de la caja de empalme. Asegúrese en todo momento de que no se compromete el radio de curvatura mínimo de la fibra.  
Enrolle el exceso de tubo de fibra o de fibra protegida alrededor de las abrazaderas de tubo como se muestra en la Figura 10.1. Asegure el cable de fibra y el miembro de refuerzo a la caja de empalme. Conecte todo a tierra donde se requiera.
15. Examine el empalme con un OTDR (o un medidor de potencia) en ambas direcciones. Diríjase a la sección 12.4 para la medida de la instalación de una fibra óptica.
16. Cierre y monte la caja de empalme si todos los empalmes cumplen las especificaciones de ingeniería.

## 10.5. TERMINACIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA

Existen dos técnicas diferentes para terminar una fibra óptica. Ambas son comunes en toda la industria. La técnica del *conector instalable in situ* es el proceso de terminar directamente una fibra óptica con un conector. Son conectores especialmente diseñados que se instalan directamente en la fibra del cable. La *técnica del pigtail o latiguillo* utiliza para terminar la fibra un latiguillo de fibra óptica ensamblado en fábrica. Ambas técnicas tienen sus ventajas y aplicaciones.

### Conector instalable en campo (*in situ*)

La técnica del conector instalable en campo permite la terminación directa de las fibras ópticas utilizando conectores especialmente diseñados para este propósito. El procedimiento de instalación implica el fijado del conector a la fibra óptica del cable con epoxi y luego el pulido del extremo del conector para proporcionar una conexión de bajas pérdidas. El producto final es un cable con conectores directamente instalados en cada fibra. La ventaja de esta técnica es que no se requieren empalmes para la terminación. Se elimina el coste del empalme y de la bandeja de empalmes. Los conectores son también más baratos que los latiguillos, pero su instalación lleva mucho tiempo, incrementando por tanto el coste del trabajo. Para una instalación que use cable de estructura ajustada con un bajo número de fibras, esta técnica puede resultar atractiva (Fig. 10.9).

La desventaja de esta técnica es que lleva mucho tiempo y que no es popular para la terminación de fibras monomodo. Se requiere el curado del pegamento del conector y un meticuloso pulido de la fibra. Para fibras multimodo, la calidad resultante de la conexión es generalmente buena. La calidad de la conexión depende considerablemente de la técnica utilizada por el instalador. Debido al tamaño tan pequeño del núcleo de las fibras monomodo (10 micras) es difícil lograr *in situ* un buen pulido del extremo de la fibra. En su lugar se usan frecuentemente latiguillos preparados en fábrica.

Los conectores se pueden instalar tanto en un cable de fibra óptica ajustada como holgada. Sin embargo, se debe tener un cuidado extremo al terminar con conectores un cable de estructura holgada. Las fibras ópticas de un tubo holgado no están protegidas por una cubierta y se pueden romper fácilmente si no se manejan con cuidado. Se puede introducir un manguito protector en cada fibra de tubo holgado para suministrar soporte y protección adicional.

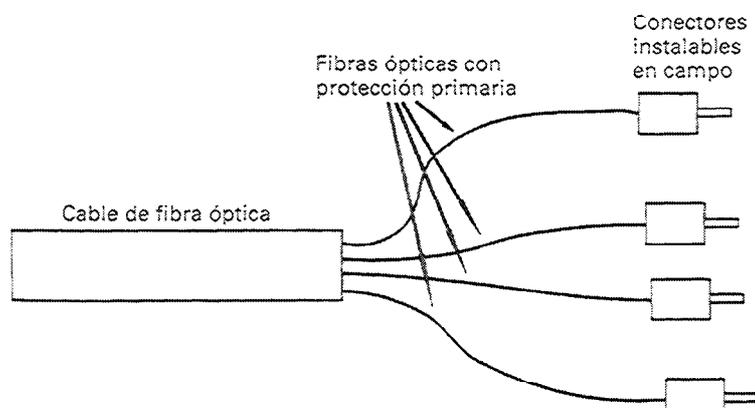


FIGURA 10.9. Conector instalable en campo.



## Juego de herramientas para un conector instalable en campo

Regla  
 Solución de limpieza de alcohol  
 Solución de limpieza de gel de cable  
 Bastoncillos de algodón, sin residuos  
 Pañuelos de papel, sin residuos  
 Herramienta de rayado de la fibra  
 Peladora del recubrimiento de la fibra  
 Peladora del tubo y de la protección de la fibra  
 Peladora de la protección primaria o cubierta de la fibra (especificar el tamaño de dicha protección)  
 Una navaja  
 Epoxi  
 Película de pulido (lija muy suave)  
 Plantilla de pulido  
 Mesa de pulido  
 Calentador (puede no necesitarse)  
 Herramienta de plegado (crimpado) (puede no necesitarse)  
 Microscopio  
 Conectores adecuados de fibra óptica  
 OTDR o medidor de potencia y fuente de luz  
 Mesa larga y sillas

## Procedimiento de conector instalable en campo

Las técnicas de instalación de los fabricantes pueden variar con cada tipo de conector. El instalador debería percatarse de los procedimientos específicos de los fabricantes para la instalación de los conectores. Lo que sigue describe un procedimiento general de instalación para un conector instalable en campo.

1. Determine las asignaciones exactas de las fibras ópticas a conectar. Identifique todas las fibras ópticas. Planee la ruta exacta de la fibras al equipamiento o al panel de conexión. Asegúrese de que se utiliza el tipo adecuado de conectores.
2. Pele aproximadamente 2 metros de la cubierta del cable (6,6 pies) para exponer los tubos de fibra o las fibras con protección (la longitud exacta variará para los diferentes tipos de cajas de empalme). Utilice el hilo de desgarrar para cortar la cubierta a lo largo. A continuación, pele cuidadosamente el cable y exponga el interior. Si no hay disponible un hilo de desgarrar, pele cuidadosamente la cubierta con una herramienta de pelado o una navaja, y asegúrese de que los tubos de fibra óptica o las protecciones no se hayan dañado. Corte el exceso de cubierta. Limpie todo el gel del cable de los tubos y protecciones expuestos con la solución de limpieza del gel del cable. Separe los tubos y las protecciones cortando cuidadosamente cualquier hebra o envoltura. Deje suficiente longitud del miembro de refuerzo para asegurar adecuadamente el cable a la caja de empalme (si se requiere).

3. Deslice, como sea requerido, el collar de ajuste en la fibra con protección y/o el tubo termorretráctil.
4. Pele aproximadamente 4 cm (1,6 pulgadas) de protección de la fibra, como aconseje el fabricante, con una herramienta de pelado de protección de 900 micras.
5. Pele aproximadamente 2 cm del recubrimiento de la fibra como aconseje el fabricante, con una herramienta de pelado del recubrimiento.
6. Limpie la fibra expuesta con la solución de limpieza de la fibra.
7. Añada el epoxi a la fibra expuesta como indique el fabricante.
8. Deslice el conector en la fibra y empújelo contra la protección.
9. Deslice la férula de fijación en la parte de atrás del conector y fíjela presionando.
10. Coloque una pequeña gota de epoxi sobre el extremo frontal del conector alrededor de la fibra expuesta.
11. Deje que cure el epoxi como recomienda el fabricante.
12. Después de que se haya secado el epoxi utilice la herramienta de rayado y marque la fibra en el extremo del conector. (¡Precaución!: lleve gafas de seguridad durante el rayado de la fibra).
13. Rompa el extremo de la fibra del conector tirando de la fibra hacia afuera en línea recta.
14. Enrosque el conector en la plantilla de pulido.
15. Utilizando la película de pulido adecuada, sitúela sobre una mesa plana y lisa. A continuación, pula con una ligera presión el conector utilizando un movimiento de barrido de figura en 8 (ver Fig. 10.10). Esta técnica puede que sea necesario realizarla utilizando dos grados diferentes de película de pulido, fina y gruesa. Verifíquelo con el fabricante.
16. Tras seis o siete pasadas, examine el extremo de la fibra bajo un microscopio; deberá estar libre de rayaduras o pegamento. Si existen rayaduras continúe puliendo.

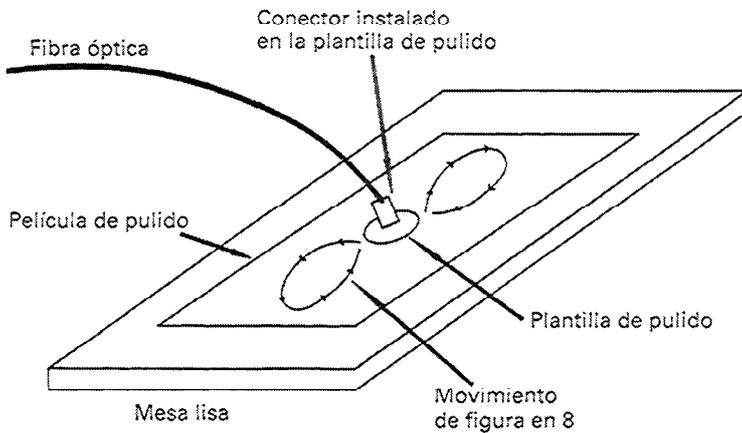


FIGURA 10.10. Sistema de pulido de un conector instalable en campo.

17. Sitúe el tubo termorretráctil sobre la parte posterior del conector y de la férula fijada y a continuación encójalo con un calentador.
18. Examine las pérdidas del conector utilizando un OTDR o un generador de luz y un medidor de potencia.

### Terminación con latiguillo

La técnica de terminación con latiguillo implica el empalme de un latiguillo ensamblado en fábrica con una fibra óptica. Esto asegura una instalación de calidad del conector, con bajas pérdidas de potencia y bajas pérdidas de retorno en la conexión. Debido al empalme requerido, las pérdidas por empalme deberían ser computadas en el dimensionado del enlace. Se utilizan frecuentemente una bandeja de empalmes y una caja de empalmes para alojar el empalme y el conector. Los conectores hechos en fábrica proporcionan las pérdidas ópticas más bajas posibles, la mayor seguridad y las menores pérdidas por retorno tanto para fibras monomodo como multimodo. El latiguillo puede tener cualquier longitud, permitiendo la mejor disposición de la fibra óptica en los armarios del equipamiento. Éste es el camino más fácil para terminar un cable de fibra óptica y puede ahorrarnos mucho tiempo en terminaciones de cables con un gran número de fibras. Este método es popular para fibras monomodo y para terminaciones de cables de estructura holgada.

Las desventajas de este método son el alto coste de un latiguillo si se compara con un conector instalable en campo, la necesidad de hacer un empalme en la fibra y el requerimiento de usar una bandeja de empalmes y un panel de conexión o una caja de empalmes.

### Kit de herramientas de terminación con latiguillo

Kit de herramientas de empalme (ver sección 10.4)  
 Latiguillos de fibra óptica  
 OTDR o medidor de potencia y generador de luz  
 Bandeja de empalmes  
 Mesa larga y sillas

### Procedimiento de terminación con latiguillo (Fig. 10.11)

1. Determine las asignaciones exactas de las fibras ópticas a conectar. Identifique todas las fibras ópticas. Plance la ruta exacta de las fibras al equipamiento. Determine la colocación de la fibra en la bandeja de empalmes, caja o panel de conexiones. Asegúrese de que se utiliza el tipo adecuado de conectores.
2. Prepare el extremo del cable para el empalme. Exponga, para empalmar, la fibra individual. Limpie, pele y corte la fibra como se describió en la sección 10.4 sobre el procedimiento de empalme.
3. Prepare el latiguillo para el empalme. Limpie, pele y corte cada latiguillo de fibra como se describió en la sección 10.4.
4. Empalme el latiguillo al cable de fibra (ver sección 10.4).

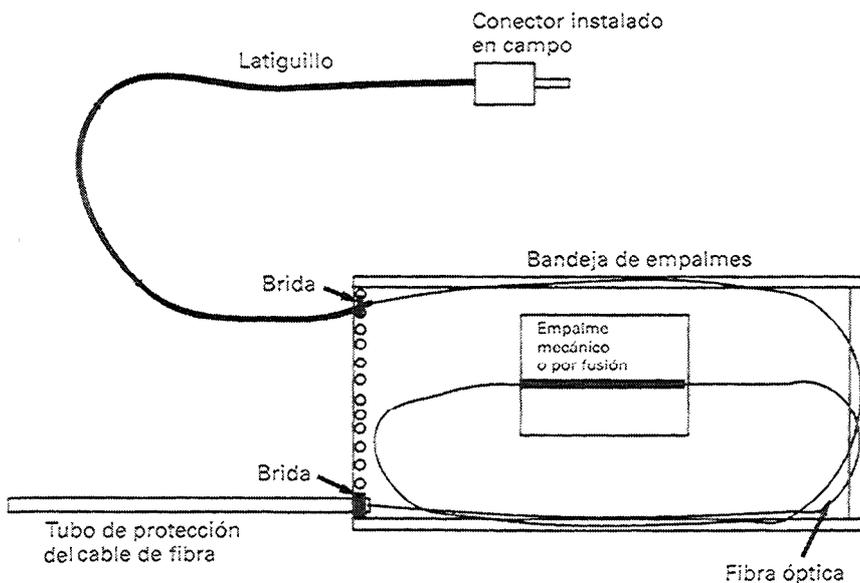


FIGURA 10.11. Terminación con latiguillo.

5. Monte los empalmes en la bandeja de empalmes y examínelos con un OTDR o un medidor de potencia.
6. Instale la bandeja de empalmes en la caja de empalmes o panel de conexiones.

## 10.6. TERMINACIÓN DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Un cable de fibra óptica puede ser terminado en diferentes configuraciones.

### Terminación sin caja

La terminación de un cable de fibra óptica sin una caja es el tipo de terminación más simple y menos costoso. Se utiliza principalmente para la terminación de cables de estructura ajustada en interiores con un bajo número de fibras (normalmente menor que seis). Este tipo de cable es ligero y flexible y se puede extender directamente hasta el equipamiento óptico terminal. Cada fibra del cable se termina directamente con un conector instalable en campo (ver Fig. 10.12).

El extremo del cable de fibra óptica se prepara pelando aproximadamente un metro (3 pies) de la cubierta o protección del cable y de otras capas protectoras, para exponer las fibras individuales con protección. Se puede hacer deslizar un manguito en cada fibra con protección para proporcionar soporte y protección adicionales. Entonces se terminan las fibras usando la técnica de conector instalable en campo descrita en la sección 10.5. Finalmente se añade al extremo del cable un manguito protector de bifurcación para descargar de tensión a las fibras.

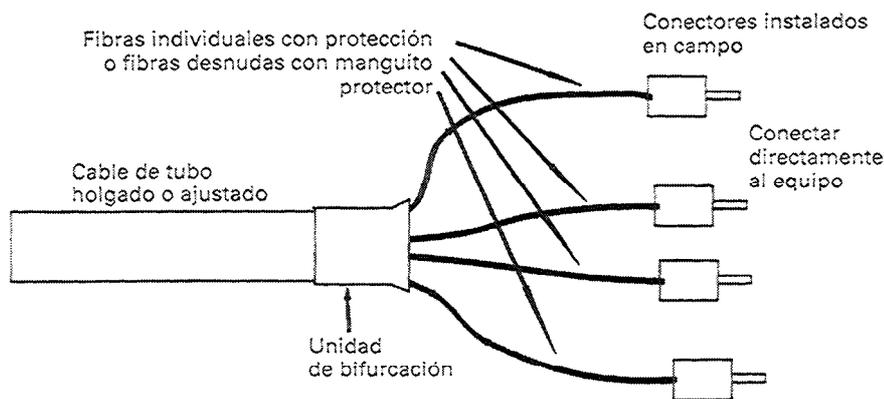


FIGURA 10.12. Terminación sin caja.

Se puede utilizar la técnica de terminación del cable para cables de estructura holgada de bajo número de fibras. Sin embargo, deberían usarse los kits apropiados de terminación en abanico (disponibles por la mayoría de los proveedores de fibra). Las fibras del cable de estructura holgada están desnudas, con poco soporte y se pueden dañar o romper fácilmente. El kit en abanico incluye manguitos que se pueden poner a las fibras individuales para proporcionar protección y soporte. También incluye una unidad de bifurcación que proporciona una terminación adecuada del cable y del tubo holgado. Para la terminación del tubo holgado, y cuando sea posible, deberá utilizarse la bandeja y caja de empalmes, especialmente para los pesados cables de exteriores. La aplicación de esta técnica incluye los enlaces de vídeo o redes RAL con bajo número de fibras.

### Terminación en una caja de empalmes

La terminación en una caja de empalmes permite la terminación de los cables de estructura holgada o ajustada usando la técnica de terminación con latiguillo (ver Fig. 10.13). Se puede usar para cables de interiores o exteriores con un número elevado de fibras. Los latiguillos hechos en fábrica tienen cubiertas protectoras que permiten a los latiguillos recorrer las cabinas o armarios (*racks*) y conectarse al equipamiento óptico. La terminación en una caja de empalmes supone una técnica de terminación efectiva del cable, que utiliza menos componentes que la terminación en panel de conexiones (no se requieren cordones de conexión) y elimina pérdidas por conexión. Sin embargo, no es tan versátil como la terminación en un panel de conexiones.

### Terminación en panel de conexiones

La terminación del cable en un panel de conexiones es la configuración más versátil. Proporciona una conexión e identificación rápida y fácil de la fibra y permite la

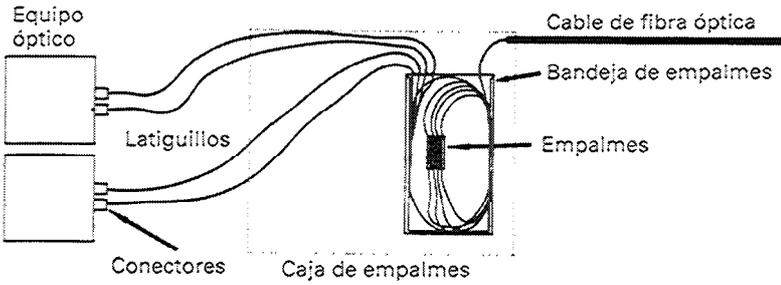


FIGURA 10.13. Terminación en caja de empalmes.

conexión con un cordón de conexión o la conexión cruzada entre el equipamiento y otros cables de fibras.

El cable de fibra óptica se puede terminar usando la técnica del latiguillo o la del conector instalable en campo (ver sección 10.5). La Figura 10.14a es un diagrama de la configuración de la terminación en latiguillo. Las fibras ópticas del cable se empalman a los latiguillos, que a su vez se conectan con los adaptadores de la cabecera del panel de conexiones. Un cable de fibra óptica puede tener estructura holgada o ajustada con fibras monomodo o multimodo.

La Figura 10.14b muestra la configuración del conector instalable en campo. Las fibras ópticas del cable se terminan *in situ* y luego se conectan a los adaptadores

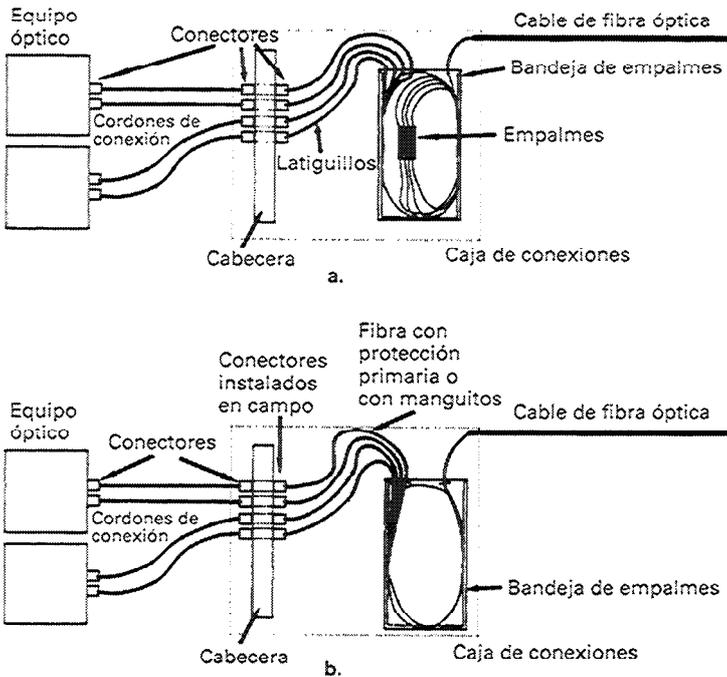


FIGURA 10.14. Terminación en panel de conexiones.

del frontal del panel de conexiones. No se requieren empalmes. Esta técnica funciona mejor con una fibra multimodo de protección ajustada.

La instalación precisa en campo de conectores para una fibra monomodo puede no ser factible. Se puede utilizar también un cable de estructura holgada en esta configuración; sin embargo, deberían protegerse las fibras desnudas con manguitos de fibra deslizantes y deberían disponerse en abanico en una bandeja de empalmes.

La siguiente tabla da una guía del tipo de cubierta o protección de fibra óptica que se puede utilizar para varias aplicaciones.

	Bandeja de empalmes	Caja o panel de conexiones	Cabina rack o rack o conducto	Interiores	Exteriores
Fibra desnuda	*				
Fibra con protección primaria o con manguito	*	*			
Cordón de conexión o latiguillo		*	*		
Cable ignífugo			*	*	
Cable de exteriores					*

# Capítulo 11

## CORDONES DE CONEXIÓN Y CONECTORES

---

### 11.1. CORDONES DE CONEXIÓN Y LATIGUILLOS

---

Los *cordones de conexión* de fibra óptica son análogos a los cables de conexión eléctrica. Un cable de conexión de fibra óptica es una fibra óptica de pequeña longitud con una protección ajustada y gruesa, cubierta o chaqueta protectora y conectores en ambos extremos (ver Fig. 11.1). La cubierta es de color naranja para fibras ópticas multimodo y de color amarillo para fibras monomodo. Se compra ensamblado en fábrica, bien en longitudes estándar o bien en longitudes a medida. Los cordones de conexión han tenido tradicionalmente muchos usos, principalmente para conectar el equipamiento óptico instalado con el panel de conexión de fibra óptica. Su flexibilidad permite que se puedan usar en localizaciones ajustadas, dentro de cabinas y armarios llenos de equipamiento. El radio de curvatura de un cordón de conexión es pequeño, generalmente entre 2,5 y 5 cm (de una a dos pulgadas). También se puede utilizar en un panel de conexión para conexiones cruzadas de fibras, o para conectar el equipamiento de prueba a los enlaces de fibra óptica.

Los cordones de conexión deberían depositarse en bandejas de cable dedicadas al efecto y no dejarlos colgando donde puedan ser dañados inadvertidamente. Los cordones de conexión se deben amarrar suavemente con abrazaderas para asegurarlos de una manera ordenada. Las longitudes en exceso de los cordones de conexión se pueden almacenar en bandejas apropiadas, o atar en círculos suaves con un radio superior al radio de curvatura mínimo de los cordones de conexión.

Si partimos por la mitad un cordón de conexión, cada mitad se convierte en un *latiguillo*. Un latiguillo de fibra óptica se usa para terminar una fibra óptica con un conector. El latiguillo se empalma a la fibra óptica (empalme mecánico o por fusión) para proporcionar una terminación de calidad con un conector de fábrica.

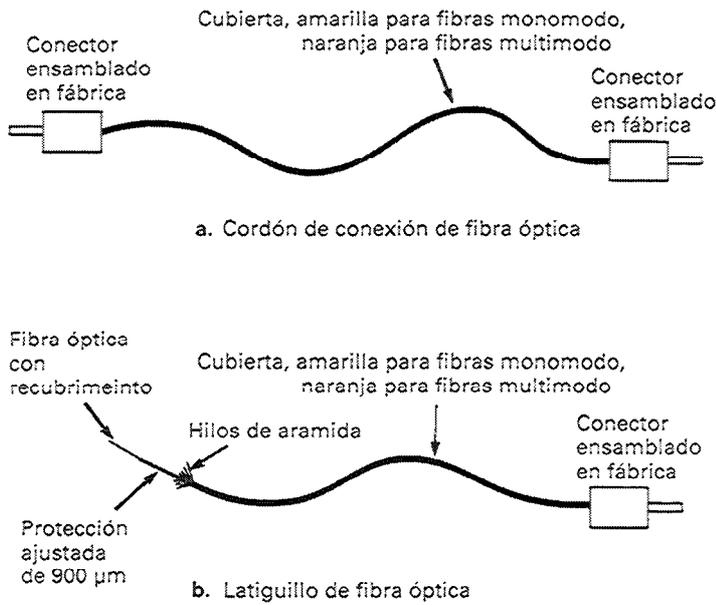


FIGURA 11.1. Cordón de conexión de fibra óptica y latiguillo.

Se deberían seleccionar los cordones de conexión para que se adaptaran al diámetro del núcleo del cable de fibra óptica instalado (diámetro de campo modal para fibra monomodo) y a los tipos de conectores del equipamiento. Si el cable de fibra óptica instalado usa una fibra 62,5/125 micras con conectores FC, el cordón de conexión seleccionado debería tener el mismo diámetro del núcleo que los conectores FC.

## 11.2. CONECTORES

En la actualidad hay un buen número de conectores de fibra óptica disponibles. Debido a que el equipamiento óptico no está estandarizado con un tipo particular de conector, es importante requerir del fabricante el tipo de conector adecuado.

El conector se compone de un casquillo o férula, un cuerpo, una cápsula o corona y un manguito descargador de tensión.

El casquillo es la porción central del conector que de hecho contiene la fibra óptica. Puede estar fabricado en cerámica, acero o plástico. Para la mayoría de los conectores, el casquillo cerámico ofrece las menores pérdidas por inserción y la mejor repetitividad. La cápsula y el cuerpo pueden ser o de acero o de plástico. Para hacer una conexión, la cápsula se puede atornillar, cerrar girando o ajustar con un muelle. El manguito descargador de tensión libera de tensiones a la fibra óptica.

La lista siguiente describe los tipos de conectores más habituales que se utilizan para terminar una fibra óptica:

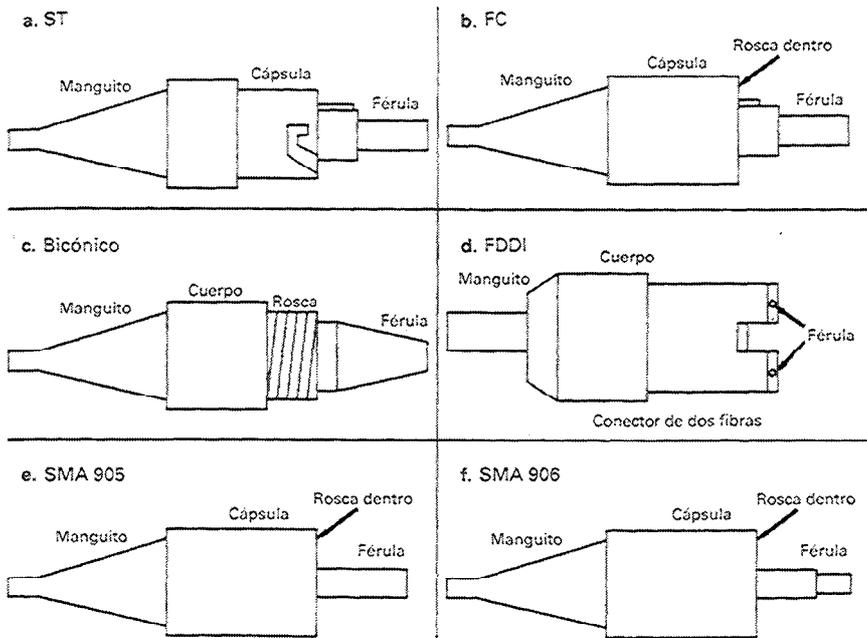


FIGURA 11.2. Conectores típicos de fibra óptica.

- ST\* Un buen conector, popular para conexiones de fibra monomodo y multimodo, con unas pérdidas en promedio que rondan los 0,5 dB. Tiene una conexión con cierre en giro que no pierde en ambientes con vibraciones. Es un conector estándar para la mayoría del equipamiento RAL de fibras ópticas. Ver Figura 11.2a.
- FC Un buen conector, popular para fibra monomodo. También conocido como FC-PC. Tiene bajas pérdidas, con un promedio aproximado de 0,4 dB. Es común en la industria de CATV\*\*. Ver Figura 11.2b.
- Bicónico Es un conector al viejo estilo. Se utilizó para fibras multimodo, aunque ahora está anticuado. Tiene una repetitividad pobre, es susceptible a las vibraciones y tiene altas pérdidas (sobre 1 dB). Ver Figura 11.2c.
- SMA Es un viejo conector pero que todavía se usa en algún equipo. Tiene altas pérdidas, aproximadamente 0,9 dB. Hay en el mercado dos tipos de conectores SMA, el SMA 905 y el SMA 906. EL SMA 905 tiene un casquillo recto (Fig. 11.2e). El SMA 906 tiene un casquillo en escalón (Fig. 11.2f). También se puede encontrar una versión de SMA 905 con un collar en el casquillo que se puede quitar, necesario para convertirlo en un SMA 906.
- D4 Este tipo de conector se usa principalmente para fibras monomodo.
- SC Es un nuevo conector modular, de alta densidad. Tiene bajas pérdidas (por debajo de 0,5 dB) y es bastante común en instalaciones monomodo.
- FDDI Este conector es el conector estándar de fibra óptica para FDDI. Es del tipo dúplex con llave, conectando dos fibras a la vez. Ver Figura 11.2d.

\* Nota del traductor: ST es una marca registrada de AT&T, Estados Unidos.

\*\* Nota del traductor: Acrónimo correspondiente a televisión por cable.



Fibra desnuda Este conector se utiliza para conectar una fibra inacabada. Se utiliza cuando se desea una conexión temporal para probar fibras desnudas. Puede requerir un *líquido adaptador de índice* para conseguir una conexión de bajas pérdidas.

Un «PC» después de la letra del conector, como en FC-PC, significa que los conectores hacen contacto físico en la conexión. Esto proporciona una conexión de bajas pérdidas. Existen también conectores que tienen sus superficies especialmente tratadas para minimizar la luz reflejada. A menudo tienen la designación *súper*, como en Super FC-PC. Se utilizan para aplicaciones de fibra monomodo con fuentes láser donde la potencia óptica reflejada puede causar problemas.

### 11.3. LIMPIEZA DE CONECTORES

---

El polvo o las partículas pequeñas afectan dramáticamente al funcionamiento de un conector. Una pequeña escama o trozo de piel de la mano es generalmente más grande que el diámetro de un núcleo monomodo. Es por tanto una buena práctica limpiar el conector cada vez que se va a conectar (ver Fig. 11.3).

#### Útiles de limpieza

- Botella de aire comprimido limpio, con inyector libre de estática.
- Bastoncillos limpios, libres de residuos.
- Un paño o bayeta sin pelusa.
- Disolvente de limpieza, una solución de alcohol libre de residuos (99 por 100 de alcohol isopropílico puro y agua destilada).
- Guantes protectores y gafas de seguridad.

#### Procedimiento

Durante este procedimiento se deberían llevar puestas las gafas de seguridad y los guantes.

1. Eliminar el capuchón antipolvo del receptáculo o clavija del conector y restregar con un bastoncillo limpio de algodón empapado en alcohol, o con un pañuelo libre de pelusa sumergido en alcohol. Restregar las caras del conector y el interior del manguito.
2. Soplar con aire comprimido limpio toda la superficie del conector.
3. Inspeccionar visualmente la limpieza del conector.
4. Soplar con aire comprimido el capuchón antipolvo. Situar otra vez el capuchón antipolvo en el conector.

Quitar sólo los capuchones antipolvo antes de hacer la conexión. No deje que el conector toque superficie alguna una vez que se ha quitado la cubierta antipolvo.

Cuando se haga una conexión, el conector deberá atacar suavemente el receptáculo. No rotar el conector al hacer la conexión; rote sólo la unidad del manguito con rosca. Para conectores con rosca apriete únicamente «con los dedos».

Cuando se hace una conexión, núcleos de diámetros extremadamente pequeños deben estar alineados, por lo que el procedimiento tiene que realizarse con sumo cuidado.



FIGURA 11.3. Limpieza del conector.



# Capítulo 12

## PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE LA MEDIDA DE POTENCIA

---

El procedimiento de verificación de la medida de potencia sirve para determinar con precisión la atenuación de un enlace de fibra óptica. Debería realizarse como parte de la prueba final de recepción de un equipo o siempre que se requiera una medida de la atenuación del enlace. Puesto que la atenuación en una fibra óptica varía con la longitud de onda de la luz, la verificación debe ser efectuada utilizando la misma longitud de onda que el equipo de comunicaciones. Si el equipo de comunicaciones trabaja en una longitud de onda de 1.310 nm, el medidor de potencia y el generador de luz deben ser ajustados para el ensayo a esa misma longitud de onda de 1.310 nm.

### 12.1. EL DECIBELIO (dB)

---

La verificación de la medida de potencia se utiliza para determinar las pérdidas de potencia en un enlace de fibra óptica. La unidad de medida de la luz es el *miliwatio* (mW). Sin embargo, la forma de medida más conveniente es utilizar el *decibelio* (dB).

El decibelio es la unidad de medida más común en el campo de la electrónica para la determinación de las pérdidas o ganancias de un sistema. Es la relación de potencias, voltajes o niveles de corrientes entre dos puntos, considerada en forma logarítmica. Se toma un punto localizado al principio o a la entrada del sistema que va a ser medido y otro punto al final o salida de dicho sistema. La fórmula de la ganancia de potencia en decibelios está expresada de la forma siguiente:

$$G_{(dB)} = 10 \times \log (\text{Pot. salida/Pot. entrada}).$$

Cuando la potencia de salida es menor que la potencia de entrada, la ecuación dará siempre valores negativos. En la mayoría de las aplicaciones de las fibras ópticas, la

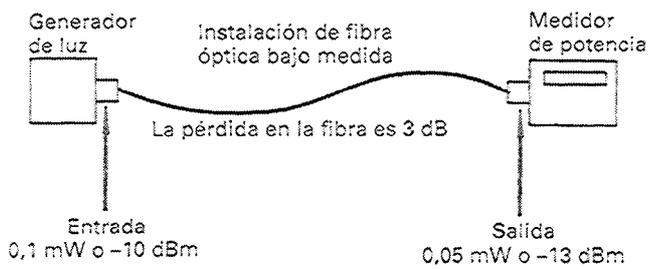


FIGURA 12.1. Medida de potencia óptica.

potencia de la luz de salida será siempre menor que la de entrada a dicha fibra óptica. Por lo tanto, el valor será siempre negativo.

Esta ganancia negativa puede ser considerada como pérdida de luz  $L_{(dB)}$ :

$$L_{(dB)} = -G_{(dB)}$$

donde  $L_{(dB)} = 10 \times \log (\text{Pot. entrada/Pot. salida})$ .

La pérdida de luz,  $L_{(dB)}$ , se utiliza comúnmente para especificar la atenuación de una fibra óptica. Por ejemplo, para determinar la pérdida de luz de una fibra óptica en un cable, se conecta un generador de luz a uno de sus extremos (entrada). La potencia de luz de salida del generador es conocida y, digamos, igual a 0,1 mW. Cuando se conecta un medidor de potencia óptica en el lado opuesto de la fibra óptica sometida al ensayo (salida), se observa que dicho medidor marca 0,05 mW (ver Fig. 12.1). Utilizando la fórmula de la pérdida en decibelios, las pérdidas en la fibra óptica objeto de la medida pueden ser calculadas de la siguiente forma:

$$L_{(dB)} = 10 \times \log (\text{Pot. entrada/Pot. salida})$$

$$L_{(dB)} = 10 \times \log (0,1 \text{ mW}/0,05 \text{ mW})$$

$$L_{(dB)} = 3 \text{ dB}$$

Luego la pérdida de potencia en esta fibra óptica es de 3 dB.

La unidad dB es una relación logarítmica entre los niveles de entrada y de salida de una señal y consecuentemente no es una medida absoluta (carece de unidades). La medida absoluta de potencia en decibelios puede efectuarse en unidades dBm. El dBm es una relación logarítmica entre la potencia medida y una potencia de referencia de un mW.

La fórmula es la siguiente :

$$P_{(dBm)} = 10 \times \log (\text{Potencia}/1 \text{ mW})$$

Se puede llegar al mismo resultado en las pérdidas utilizando los dBm. Volviendo al ejemplo anterior, la potencia que suministra el generador a la entrada de la fibra óptica es de 0,1 mW, lo cual equivale a -10 dBm.

$$P_{\text{generador (dBm)}} = 10 \times \log (0,1 \text{ mW}/1 \text{ mW})$$

$$P_{\text{generador (dBm)}} = -10 \text{ dBm}$$

La potencia de luz recibida por el instrumento de medida en el extremo de salida de la fibra óptica es de 0,05 mW, lo cual equivale a -13 dBm.

$$P_{\text{receptor (dBm)}} = 10 \times \log (0,05 \text{ mW}/1 \text{ mW})$$

$$P_{\text{receptor (dBm)}} = -13 \text{ dBm}$$

La pérdida de la potencia de luz en la fibra óptica es igual a la diferencia entre la potencia del generador y la potencia del receptor indicada por el instrumento de medida:

$$L_{\text{(dB)}} = P_{\text{generador (dBm)}} - P_{\text{receptor (dBm)}}$$

$$L_{\text{(dB)}} = -10 \text{ dBm} - (-13 \text{ dBm})$$

$$L_{\text{(dB)}} = 3 \text{ dBm}$$

Por lo tanto, las pérdidas de potencia de luz a través de esta fibra óptica son de 3 dBm, o de 3 dB.

Todas las medidas deben ser realizadas bien en decibelios o en miliwatios, pero *no en ambas entremezcladas*. Normalmente, todas las medidas se efectúan en decibelios porque de esta forma resulta más cómodo y fácil trabajar. No es necesario convertir los mW a dBm porque la mayoría de las especificaciones vienen en escala de decibelios. La siguiente tabla nos muestra la conversión de los dBm a mW.

Potencia en dBm	Potencia en mW
0	1
-3	0,5
-10	0,1
-20	0,01
-30	0,001
-40	0,0001
-50	0,00001

Es útil acordarse de que una pérdida de potencia de 3 dB equivale a un 50 por 100 de potencia perdida. Igualmente, una pérdida de potencia de 10 dB equivale a un 90 por 100 de potencia perdida. Cuando restamos dos valores en dBm, el resultado son dBm, o dB. Cuando sumamos o restamos dB a dBm, el resultado son dBm. Cuando sumamos o restamos dos valores en dB, el resultado es siempre en dB. Los valores en dB nunca se multiplican entre sí (siempre se suman o se restan).

Cuando se miden las pérdidas en dB de varios tramos de un enlace de fibra óptica, el total de las pérdidas de todos los tramos es equivalente a la suma en dB de cada tramo individual.

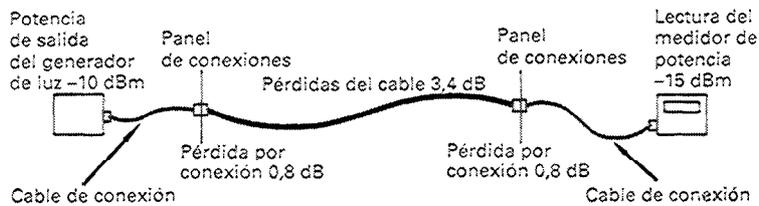


FIGURA 12.2. Ejemplo de pérdidas en un circuito de fibra óptica.

**Ejemplo 12.1** Un enlace de fibra óptica con 1 km de cable tiene unas pérdidas de 3,4 dB. La pérdida del panel de conexiones de cada uno de los extremos es de 0,8 dB. Consideraremos que las pérdidas en los cordones son despreciables. Si conectamos un generador de luz con una potencia de  $-10 \text{ dBm}$  en uno de los extremos del enlace, ¿cuál será la potencia de luz recibida en el otro extremo? (ver Fig. 12.2).

Primeramente, las pérdidas totales del enlace incluyendo los paneles de conexiones son, sumando:

$$3,4 \text{ dB} + 0,8 \text{ dB} + 0,8 \text{ dB} = 5,0 \text{ dB}$$

La fórmula de las pérdidas de la potencia óptica debe ser reordenada para obtener la potencia óptica recibida, es decir :

$$L_{(\text{dB})} = P_{\text{generador (dBm)}} - P_{\text{receptor (dBm)}}$$

se transforma en

$$P_{\text{receptor (dBm)}} = P_{\text{generador (dBm)}} - L_{(\text{dB})}$$

$$P_{\text{receptor (dBm)}} = -10 \text{ dBm} - 5 \text{ dB}$$

$$P_{\text{receptor (dBm)}} = -15 \text{ dBm}$$

Entonces, la potencia de luz que mediríamos con un medidor de potencia instalado en el extremo de la fibra sería de  $-15 \text{ dBm}$ . Tengamos en cuenta que los dos conectores de fibra óptica contribuyen a las pérdidas agrupadas como pérdidas de conexión.

## 12.2. EQUIPAMIENTO

Se necesitan los siguientes equipos de medida para la mayoría de las medidas de potencia óptica:

*Medidor de potencia óptica:*

- con un adecuado rango de longitudes de onda
- con los adecuados conectores terminales
- para los tamaños de fibra óptica monomodo o multimodo
- calibrado en dBm, preferiblemente con escala opcional en dB

*Generador óptico de luz:*

- con una fuente de luz estable
- con un rango adecuado de longitudes de onda
- con los conectores terminales apropiados
- para los tamaños de fibra óptica monomodo o multimodo
- con generador de luz láser o diodo LED
- con suficiente potencia de salida de luz

*Cordones de acoplamiento para los ensayos:*

- por lo menos un par de ellos, de 1 a 5 metros de longitud
- con pérdidas conocidas
- con los conectores terminales adecuados
- con los mismos diámetros que la fibra óptica objeto del ensayo

*Solución química de limpieza de conectores, paños de algodón, aire comprimido.*

*Un juego de herramientas para el cortado y pelado de la fibra óptica (para el caso de fibras sin terminar).*

*Un adaptador de fibra desnuda (si la fibra no está terminada).*

*Gel de adaptación del índice de refracción:*

- para adaptador de fibra desnuda.

### **12.3. PÉRDIDAS DE LOS CORDONES DE CONEXIÓN**

---

Antes de proceder a la realización de las mediciones con los equipos ópticos, debe verificarse individualmente cada cordón de conexión. Las medidas de las pérdidas comparadas con las que proporcionan los suministradores de material óptico pueden anticiparnos los fallos de nuestros cables de interconexión. Hay que limpiar siempre los conectores ópticos antes de cada ensayo.

#### **Procedimiento**

1. Encender el medidor de potencia y el equipo generador de luz para el ensayo, y mantenerlos funcionando durante un espacio de tiempo para su calentamiento y estabilización adecuados. Si utilizamos un generador láser, asegurarse de que no está emitiendo luz hasta que todas las fibras a conectar al generador hayan sido debidamente ensambladas. Limpiar previamente todos los conectores.
2. Conmutar el medidor de potencia a la escala de dBm. Conectar un cordón de calidad reconocida, como se muestra en la Figura 12.3a, con el fin de obtener una referencia de la potencia del generador de luz leída en dBm ( $P_{\text{Ref(dBm)}}$ ). La lectura obtenida debe ser cercana al valor dado por las especificaciones de

encendido y leer la potencia recibida en el medidor sobre la escala en dBm. Este valor debería aproximarse a las especificaciones dadas por el fabricante respecto al valor de la potencia de salida de luz. Seleccionar sobre el medidor la escala en dB y ajustarlo a 0,0 dB. Esta calibración a 0 dB deberá mantenerse como referencia del nivel del generador de luz. Desconéctese el conjunto pero sin reajustar o desconectar el medidor de potencia. Si el medidor de potencia no dispone de calibrado a 0 dB y sólo nos muestra niveles de potencia absoluta en dBm, anótese la medida de su lectura  $P_{(Ref. dBm)}$  para posteriores cálculos.

4. Tratándose de una instalación ya existente, procédase a desconectar todos los cordones de fibra óptica del panel de conexiones.

Determinar el procedimiento de configuración a seguir (final-final o en bucle de retorno) y conectar los cordones calibrados, el generador de luz y el medidor de potencia de luz conforme a la Figura 12.4. No modificar la referencia del «cero» del medidor de potencia, calibrado en una etapa previa.

Para la configuración final-final, conectar el generador de luz utilizando un cordón calibrado a uno de los extremos del enlace de fibra óptica y conectar asimismo el medidor de potencia de luz óptica mediante otro latiguillo calibrado (cordón A) al otro extremo final del enlace óptico (ver Fig.12.4b).

Si utilizamos una configuración en bucle de retorno, añádase un cordón calibrado B a través del panel de conexiones B y proceder como muestra la Figura 12.4a. Con objeto de agilizar los ensayos y no perder un tiempo excesivo, puede establecerse una comunicación bien por teléfono o por radio entre los puntos finales de esta red.

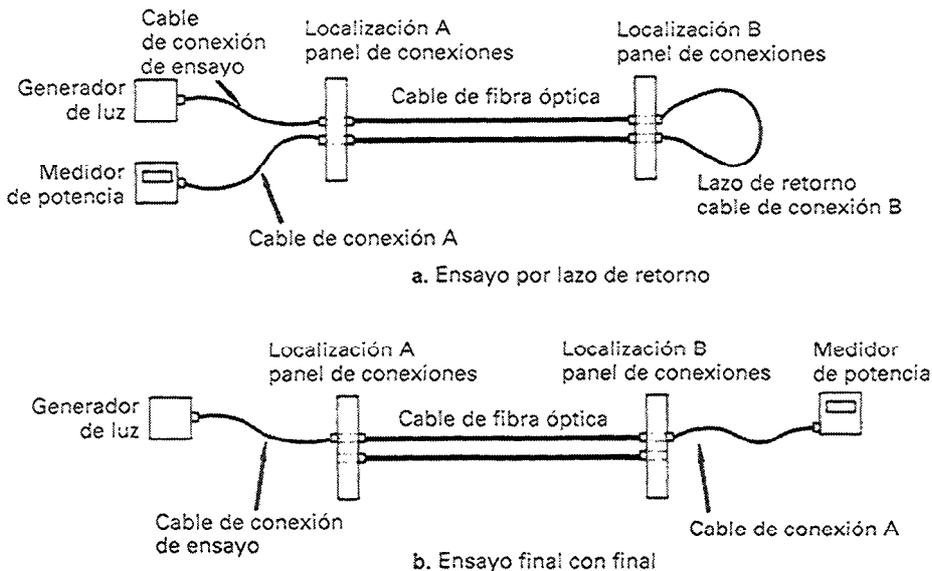


FIGURA 12.4. Configuración para la verificación de la medida de potencia.

5. Asegurarse de que la configuración seleccionada ha sido conectada adecuadamente; entonces encender el generador de potencia. Procédase a la lectura del medidor de potencia óptica y anótase el nivel de medida recibido. Para la configuración final-final, anótense las pérdidas en dB como  $L_{\text{Medidor Final(dB)}}$ . Si no utiliza la escala en dB, anotar el nivel de potencia en dBm como  $P_{\text{Medidor Final(dBm)}}$ . Si utilizamos la configuración en bucle de retorno, anotar los niveles de potencia como  $L_{\text{Medidor Bucle(dB)}}$  o bien  $P_{\text{Medidor Bucle(dBm)}}$  para las escalas en dBm.
6. Para la configuración final-final, utilizando la escala en dB en el medidor, el valor de las pérdidas totales de la instalación es el de la diferencia entre la indicación del medidor y las pérdidas del cordón A correspondiente, precalibrado.

$$L_{\text{Instalación(dB)}} = L_{\text{Medidor Final(dB)}} - L_{\text{Cordón A(dB)}}$$

Si la medida se realiza en dBm, el total de pérdidas del enlace de fibra óptica se determina restando la medida, dada por el medidor y las pérdidas del cordón, del valor de referencia inicial  $P_{\text{Ref(dBm)}}$ .

$$L_{\text{Instalación(dB)}} = P_{\text{Ref(dBm)}} - P_{\text{Medidor Final(dBm)}} - L_{\text{Cordón A(dB)}}$$

Para una configuración en bucle de retorno utilizando la lectura en dB del medidor de potencia, añádanse las pérdidas del cordón B a la ecuación. El resultado se obtiene entonces dividiendo entre dos, para obtener el promedio de las pérdidas para una fibra:

$$L_{\text{Instalación}} = \frac{(L_{\text{Medidor Bucle(dB)}} - L_{\text{Cordón A(dB)}} - L_{\text{Cordón B(dB)}})}{2}$$

Si en la configuración de circuito en bucle todas las medidas están en dBm, entonces las pérdidas de la instalación de fibra se calculan de la forma siguiente:

$$L_{\text{Instalación(dB)}} = \frac{(P_{\text{Ref(dBm)}} - P_{\text{Medidor Bucle(dBm)}} - L_{\text{Cordón A(dB)}} - L_{\text{Cordón B(dB)}})}{2}$$

7. Anotar los resultados de las medidas efectuadas y la configuración utilizada.
8. Este proceso deberá repetirse para cada una de las fibras que componen el conjunto de la instalación.

**Ejemplo 12.2** Una instalación de fibra óptica va a ser medida para conocer el total de pérdidas del enlace, mediante el procedimiento de la configuración final-final y utilizando un medidor de potencia con escala en dB (como puede verse en la Fig. 12.5b). El medidor de potencia se calibra a 0 dB utilizando un generador de luz y un cordón calibrado de prueba. El cordón A ha sido medido anteriormente y presenta unas pérdidas de 0,5 dB. En el ensayo de configuración final-final (Fig. 12.5b), la lectura de pérdidas del medidor de potencia es de 8,1 dB. Recuérdese que muchos medidores de potencia

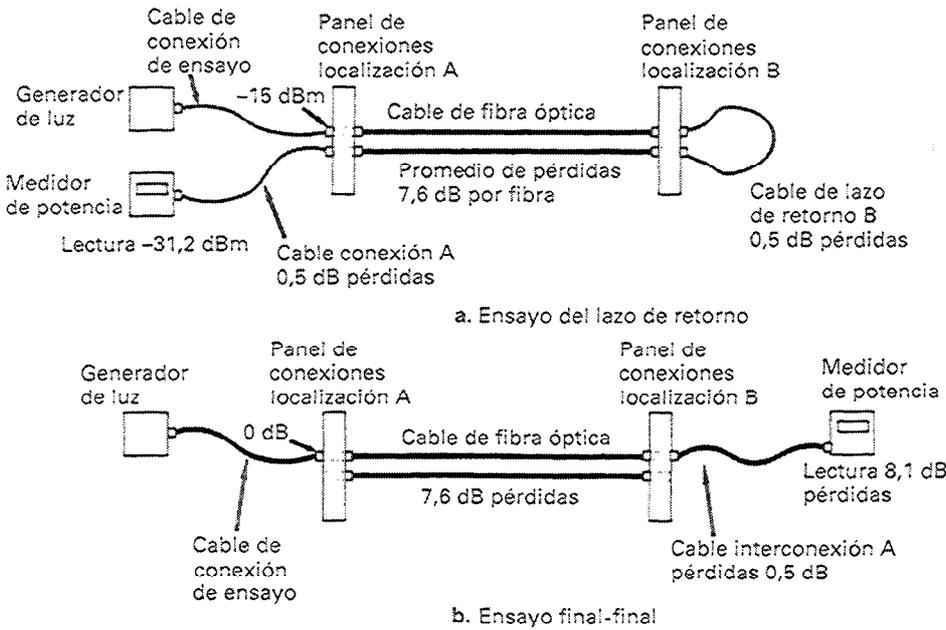


FIGURA 12.5 . Ejemplo de medidas de potencia.

muestran la indicación de pérdidas con valores negativos en dB (- 8.1 dB) en la escala de dB. Estos valores provienen de la aplicación de la fórmula de la ganancia (ver Sec. 12.1). Deben convertirse a valores de pérdidas positivos (8.1 dB) para su uso en todos los cálculos. ¿Cuáles serán las pérdidas de la instalación de fibra óptica?

Puesto que solamente añadimos al circuito a ensayar un elemento externo —el cordón A—, sus pérdidas deberán ser restadas de las lecturas del medidor de potencia para determinar las pérdidas del sistema:

$$L_{Inst.(dB)} = L_{Med. Final(dB)} - L_{Cordón A(dB)}$$

$$L_{Inst.(dB)} = 8,1 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} = 7,6 \text{ dB}$$

Luego las pérdidas de la instalación de fibra óptica de nuestro problema serán de 7.6 dB.

**Ejemplo 12.3** El sistema de la Figura 12.5a fue medido utilizando la configuración bucle de retorno con un medidor de potencia de escala en dBm. Utilizando un cordón de ensayo, la referencia de potencia medida fue anotada como -15 dBm. Ambos cordones A y B fueron medidos anteriormente al ensayo y dieron unas pérdidas de 0,5 dB cada uno. La lectura del medidor de potencia fue de -31.2 dBm. ¿Cuáles son las pérdidas de la instalación de fibra óptica que nos concierne?

Aplicaremos la fórmula de la configuración en bucle de retorno:

$$L_{Instalación(dB)} = \frac{(P_{Ref.(dBm)} - P_{Medidor Bucle(dBm)} - L_{Cordón A(dB)} - L_{Cordón B(dB)})}{2}$$

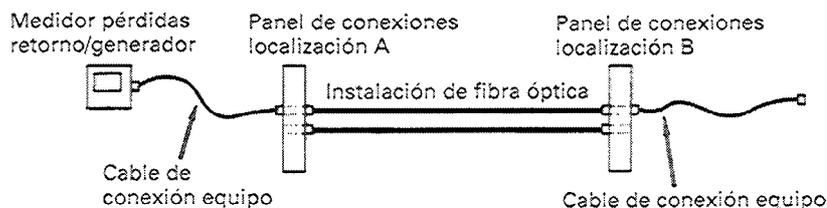


FIGURA 12.6 . Configuración del ensayo de pérdidas por retorno.

$$L_{\text{instalación(dB)}} = \frac{(-15 \text{ dBm} - -31,2 \text{ dBm} - 0,5 \text{ dBm} - 0,5 \text{ dBm})}{2}$$

$$L_{\text{instalación(dB)}} = 7,6 \text{ dB}$$

Por lo tanto, el promedio de las pérdidas de la instalación es de 7,6 dB.

### 12.5. MEDIDA DE LAS PÉRDIDAS POR RETORNO

La medida de las pérdidas por retorno se realiza cuando utilizamos un láser como generador de luz (sobre todo en fibras monomodo). La medida determina la cantidad de potencia óptica que es reflejada hacia atrás en dirección al generador láser, a través de la misma fibra.

Altos porcentajes de reflexión óptica hacia el generador láser pueden afectar a la estabilidad del propio láser y causar un funcionamiento erróneo. La potencia reflejada debe mantenerse por debajo de las especificaciones del equipo de comunicaciones por láser.

Para medir las pérdidas de retorno, conectar un equipamiento de medición de pérdidas por retorno a la fibra de transmisión, utilizando los propios cordones de la instalación (no utilizar los cordones de ensayo). Ajustar el medidor en las escalas adecuadas y anotar el valor de las pérdidas de retorno medidas (ver Fig. 12.6).

Si la potencia óptica reflejada es de mayor valor que la especificada para el equipamiento de transmisión, cambiar los cordones y conectores por otros de mayor calidad. El uso de empalmes por fusión en ángulo también puede ayudar a la disminución de las pérdidas de retorno.

### 12.6. VALORACIÓN TÉCNICA DE UN ENLACE POR FIBRA ÓPTICA

La valoración de un enlace de fibra óptica es la tabulación de todas las pérdidas (o ganancias) de dicho enlace. Esas pérdidas son debidas a la participación de todos los componentes del enlace óptico, como la propia fibra, los conectores, los empalmes, los atenuadores, etc. También se incluye la potencia media de salida del generador de luz, la sensibilidad del receptor y la potencia de luz recibida.

La valoración técnica de un enlace se usa normalmente durante la etapa de diseño, a fin de determinar los niveles de luz adecuados al propio sistema de operación. Análogamente, se utiliza para enlaces con problemas de funcionamiento o durante la monitorización de pruebas de degradación óptica.

### Valoración técnica de un enlace: un ejemplo

a) Pérdidas de un enlace de fibra óptica a 1.310 nm: 3,5 km de longitud a 1,8 dB/km	6,3 dB
b) Pérdidas en los empalmes: 2 uniones a 0,5 dB/empalme	1,0 dB
c) Pérdidas de conexión: 2 conectores a 1,0 dB/conexión	2,0 dB
d) Pérdidas de otros componentes	0,0 dB
e) Margen de diseño	<u>2,0 dB</u>
f) Pérdidas totales del enlace óptico	11,3 dB
g) Potencia media de salida del transmisor	-10,0 dBm
h) Potencia de entrada al receptor: (g menos f)	-21,3 dBm
i) Rango dinámico del receptor	-10 a -30 dBm
j) Sensibilidad del receptor con BER = $10^{-9}$ (BER = Tasa de error de bit)	-26,0 dBm
k) Margen de pérdidas restantes: (h menos j)	-4,7 dB

Las pérdidas de un enlace de fibra óptica [apartado a) en el ejemplo de valoración técnica] son el total de pérdidas de dicho enlace para el tramo total de fibra instalada, a la longitud de onda de trabajo. Este valor puede ser determinado a partir de las hojas de especificaciones del fabricante. Viene presentado en forma de atenuación en dB/km a la longitud de onda de trabajo y debe ser multiplicado por el largo total de la fibra en kilómetros para obtener las pérdidas totales de la fibra. También puede ser determinado mediante un medidor de potencia y un generador de luz o un OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo).

Las pérdidas en los empalmes (apartado b) son todas las debidas a los empalmes mecánicos o de fusión en el enlace de fibra óptica. Durante la etapa de diseño, este valor se estima normalmente utilizando las especificaciones de los fabricantes. Las pérdidas en los empalmes por fusión están normalmente por debajo de los 0,1 dB y la mayoría de las uniones mecánicas no rebasan los 0,5 dB. Las pérdidas en los empalmes pueden ser medidas también mediante el uso del reflectómetro OTDR.

Las pérdidas de conexión (apartado c) son el total de pérdidas debidas a las conexiones en el enlace de fibra óptica. Están excluidas las pérdidas debidas a los conectores que unen los cordones con el equipo de luz; estas pérdidas ya han sido tenidas en cuenta por el fabricante del equipo en sus hojas de especificaciones técnicas. También

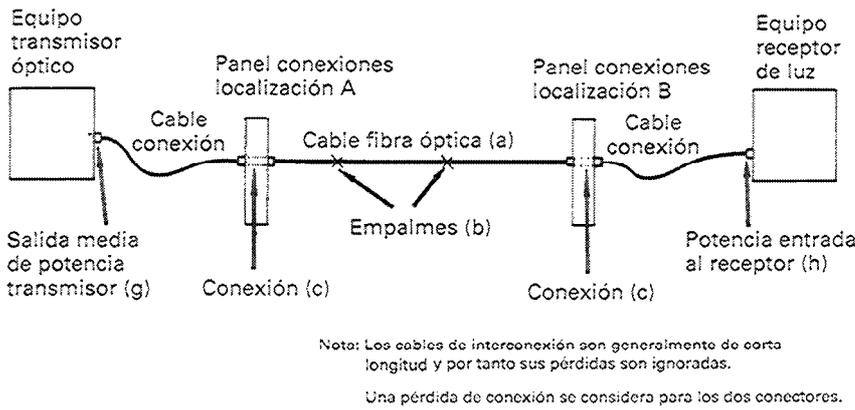


FIGURA 12.7 . Valoración de las pérdidas de potencia en el enlace óptico.

aparecen pérdidas de conexión como resultado de la unión de dos conectores utilizando un adaptador. Las pérdidas de conexión pueden valorarse mediante las especificaciones del fabricante o pueden ser medidas con un reflectómetro OTDR.

Otras pérdidas de componentes (apartado *d*) incluyen el total de pérdidas debidas a otros componentes en el enlace de fibra óptica.

El margen de diseño (apartado *e*) es el nivel de pérdidas estimadas que nos proporcionará la suficiente confianza para mantener el debido funcionamiento del equipo de comunicaciones a lo largo de la vida del sistema. Con el tiempo, todos los sistemas se degradan de manera apreciable. Este aspecto debería ser previsto en la etapa de diseño del sistema con el fin de maximizar la vida del mismo. Factores que contribuyen a la degradación de la fibra óptica son la atenuación debida a la absorción de grupos OH, el decaimiento de la potencia del generador de luz, el decrecimiento de la sensibilidad del receptor, el incremento de las pérdidas del enlace por reparaciones en los empalmes y el incremento de las pérdidas motivado por la contaminación.

El total de las pérdidas del enlace (apartado *f*) es la suma de todas las pérdidas ópticas en dB [apartados *a*) hasta *e*) de la valoración técnica del enlace óptico; ver también la Fig. 12.7].

El promedio de la potencia de salida del transmisor (apartado *g*) es el promedio de la potencia óptica de salida del equipo generador de luz empleando un patrón estándar de datos de pruebas. Para un sistema analógico, se utiliza el patrón de pruebas estándar de tono o de vídeo. Este nivel puede ser obtenido de las especificaciones del equipo durante la fase de diseño y medido después de la puesta en marcha con un medidor de potencia.

La potencia de entrada del receptor (apartado *h*) es el umbral del nivel de la potencia de luz a la longitud de onda del equipo. Éste se calcula restando las pérdidas totales del enlace de la potencia media de salida del transmisor [apartado *g*) menos apartado *f*) de la valoración técnica del enlace óptico; ver también Fig.12.7].

El rango dinámico de recepción (apartado *i*) es el umbral del nivel de luz en dBm dentro del cual el receptor puede aceptar potencia óptica sin que tenga lugar una degradación de su funcionamiento. El receptor óptico está proyectado para aceptar luz

dentro de los límites de los niveles predeterminados por el fabricante (medidos en dBm). Si la luz es demasiado intensa, el circuito del receptor se saturará, y el equipo no funcionará. Esto es normal cuando existe insuficiente atenuación en el enlace de fibra óptica. Para remediar este problema, se insertan unos atenuadores de fibra óptica en el enlace de modo que la potencia de luz óptica esté dentro de los rangos dinámicos del receptor. Los atenuadores pueden ser instalados en el conector del equipo o en el panel de conexiones de las fibras de transmisión o de recepción. Si los atenuadores han sido instalados en la fibra del transmisor, asegurarse de que la medida de las pérdidas de retorno entran dentro de los niveles dados por las especificaciones del fabricante del equipo. La potencia de entrada del receptor (apartado *h*) debe estar dentro del rango dinámico del receptor (apartado *i*).

A menudo, en un equipamiento óptico proyectado para cortas distancias de transmisión, el receptor óptico está diseñado para aceptar la máxima luz del generador de potencia (enlace sin atenuación) y la mínima luz del generador de potencia (máxima atenuación del enlace). Para estos casos no se requieren atenuadores de fibra, por lo que este apartado puede ser ignorado.

La sensibilidad del receptor para una tasa de error de bit (BER) (apartado *j*) es la mínima cantidad de potencia óptica necesaria para que el equipo óptico receptor obtenga el BER deseado dentro del sistema digital. En sistemas analógicos, es la mínima cantidad de potencia de luz necesaria para que el equipo óptico obtenga el nivel de señal/ruido (S/N) deseado.

El margen restante de pérdidas (apartado *k*) es la pérdida adicional de potencia óptica que el enlace de fibra puede tolerar sin que se vean afectadas sus características de trabajo. Está calculada restando la sensibilidad del receptor para el BER buscado, de la potencia de entrada del receptor [apartado *h*] menos apartado *j*) del proyecto del enlace óptico; ver también la Fig. 12.7].

Este valor debe ser siempre mayor que cero.

# Capítulo 13

## MÉTODO DE VERIFICACIÓN CON UN REFLECTÓMETRO OTDR

---

Para obtener la representación visual de las características de atenuación de una fibra óptica a lo largo de toda su longitud se utiliza un reflectómetro óptico en el dominio en tiempo (OTDR). El OTDR dibuja esta característica en su pantalla, de forma gráfica, mostrando las distancias sobre el eje X y la atenuación sobre el eje Y. A través de esta pantalla se puede determinar información tal como la atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, las pérdidas en los conectores y la localización de anomalías.

El ensayo mediante el OTDR es el único método disponible para determinar la localización exacta de las roturas de la fibra óptica en una instalación de cable óptico ya instalado y cuyo recubrimiento externo no presenta anomalías visibles. Es el mejor método para localizar pérdidas motivadas por empalmes individuales, por conectores, o por cualquier anomalía en puntos concretos de la instalación del sistema. Permite al técnico determinar si un empalme o unión está dentro de las especificaciones o si se requiere rehacerla. También proporciona una representación óptima de la integridad total de la fibra.

Cuando está operando, el OTDR envía un corto impulso de luz a través de la fibra y mide el tiempo requerido para que los impulsos reflejados retornen de nuevo al OTDR. Las imperfecciones e impurezas de la fibra causan reflexiones a lo largo de la misma.

Conociendo el índice de refracción de la fibra óptica y el tiempo requerido para que lleguen las reflexiones, el OTDR calcula la distancia recorrida del impulso de la luz reflejada:

$$\text{Distancia} = \frac{3 \times 10^8 \times \text{tiempo}}{2 \times \text{índice de refracción}}$$

El OTDR mide también la potencia del impulso de luz reflejado y muestra en pantalla la atenuación de la fibra óptica en función de la distancia. Las dos secciones

siguientes describen el equipo de verificación OTDR y los métodos generales para su utilización. Para detalles adicionales, se deberían consultar los manuales de los fabricantes de los OTDR.

### 13.1. EQUIPAMIENTO

OTDR:

- longitudes de onda adecuadas
- conectores apropiados
- dimensiones para fibras monomodo o multimodo
- suficiente rango dinámico para la longitud de la fibra

Latiguillos y cables de conexiones de ensayo:

- al menos uno del largo requerido
- conectores adecuados
- dimensión apropiada de fibra

Solución de limpieza, trapos de algodón, aire comprimido.

Adaptador de fibra desnuda.

Líquido o gel para adaptación del índice de refracción.

Herramienta cortadora.

Peladores de cables y de fibras.

Fibra para zona muerta (si lo requiere el OTDR).

Antes de proceder a efectuar medidas con el OTDR, éste debería ser probado para asegurarnos de que tiene la suficiente capacidad de medida para la longitud total de la fibra óptica.

El ejemplo siguiente nos muestra los cálculos que estiman la capacidad de medida en kilómetros de longitud de un equipo OTDR. La suma de los largos de fibra óptica a medir debería ser inferior a este rango.

#### Ejemplo 13.1

- a) Las especificaciones de un fabricante de un OTDR dan un rango dinámico de 25 dB [ $P_{OTDR(dB)}$ ].
- b) Las pérdidas de la fibra óptica a 1.310 nm son de 0,48 dB/km, también proporcionadas por el fabricante.
- c) El promedio de las pérdidas en los empalmes está estimado en 0,02 dB/km, para tres empalmes en un tramo de 1 km de fibra:

$$\frac{(0,01 + 0,02 + 0,03)}{3} = 0,02 \text{ dB/km}$$

- d) El total de pérdidas estimadas a 1.310 nm para 1 km de longitud es 0,50 dB/km:

$$L_{(\text{Total dB/km})} = 0,48 + 0,02 = 0,50 \text{ dB/km}$$

e) Rango aproximado del OTDR (dB):

$$d_{R(\text{km})} = \frac{P_{\text{OTDR(dB)}}}{L_{\text{Total (dB/km)}}} = \frac{25 \text{ dB}}{0.50 \text{ dB/km}} = 50 \text{ km.}$$

Este cálculo se efectúa para todas las longitudes de onda de trabajo.

## 13.2. PROCEDIMIENTO

Para realizar una verificación con un OTDR deberían seguirse los pasos siguientes:

1. Si la fibra óptica que va a verificarse no está conectada, pélese el cable de fibra y córtese una longitud de 2 m (6 pies) de la misma. Limpiar y pelar la fibra que va a someterse a ensayo.
2. Conectar el OTDR a la fibra a verificar mediante un latiguillo, fibra para zona muerta (si se requiere), y adaptador de fibra desnuda (ver Fig. 13.1). Si la fibra a verificar está conexcionada, entonces conectar el OTDR a la fibra a través del panel de conexiones y de la fibra para zona muerta (si se requiere).

*La fibra para zona muerta es un tramo de fibra óptica de 1 km (0.6 millas) de longitud sin recubrimiento que está bobinada sobre un pequeño carrete. Se utiliza en algunos OTDR para rebasar el punto ciego del OTDR (zona muerta), que puede llegar hasta 1 km de distancia hacia la fibra a verificar (dependiente de la configuración del OTDR). Esto impediría ver cualquier tipo de anomalía en la fibra en este tramo.*

3. Encender el OTDR y matenerlo un tiempo hasta que alcance la temperatura de trabajo.
4. Programar los parámetros adecuados al OTDR para su operación, incluyendo la longitud de onda, índice de refracción de la fibra a verificar y modo de exploración y resolución.
5. Ajustar la resolución para que observemos toda la fibra óptica bajo ensayo. Para obtener la mejor resolución, manténgase el ancho del impulso tan estrecho como sea posible.

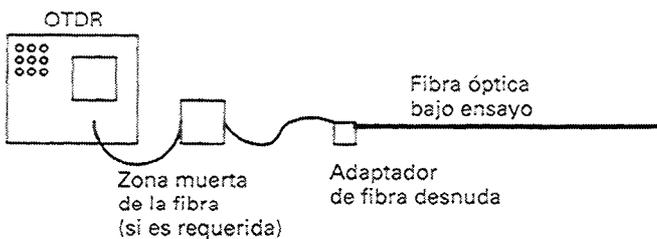


FIGURA 13.1. Configuración para la verificación mediante un OTDR.

6. Medir la atenuación en todas las discontinuidades, empalmes, conectores y toda la fibra en general.
7. Medir la atenuación de extremo a extremo de la fibra en dB y en dB/km.
8. Repetir los pasos 1 al 7 para todas las longitudes de onda requeridas.
9. Tomar nota de la posición del OTDR durante estas medidas. Imprimir una copia de los resultados o almacenarlos en un disquete de ordenador.
10. Repetir los pasos 1 al 9, con el OTDR conectado al otro extremo de la fibra del cable óptico. Después, promediar ambos resultados. Esto nos proporcionará un valor más preciso:

$$\text{Pérdidas}_{\text{OTDR Total}} = \frac{\text{Pérdidas}_{\text{dirección A}} + \text{Pérdidas}_{\text{dirección B}}}{2}$$

### 13.3. DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN FÍSICA DE LAS ANOMALÍAS

Un OTDR puede proporcionar la localización de las anomalías (ver Figs. 13.2 y 13.3). Sin embargo, la localización física real de una anomalía depende de la precisión del OTDR, de la precisión del valor del índice de refracción suministrado por el fabricante (debería venir expresado con cuatro dígitos o más) para el núcleo de la fibra, y del exceso de longitud de fibra en el cable.

La cantidad en exceso de fibra en un cable es debida al pequeño manojó de fibras en el conjunto del cable y su plegado en espiral alrededor del elemento central de refuerzo.

Los fabricantes del cable suelen especificar este exceso de largo de fibra como un porcentaje del largo total del cable de fibra óptica.

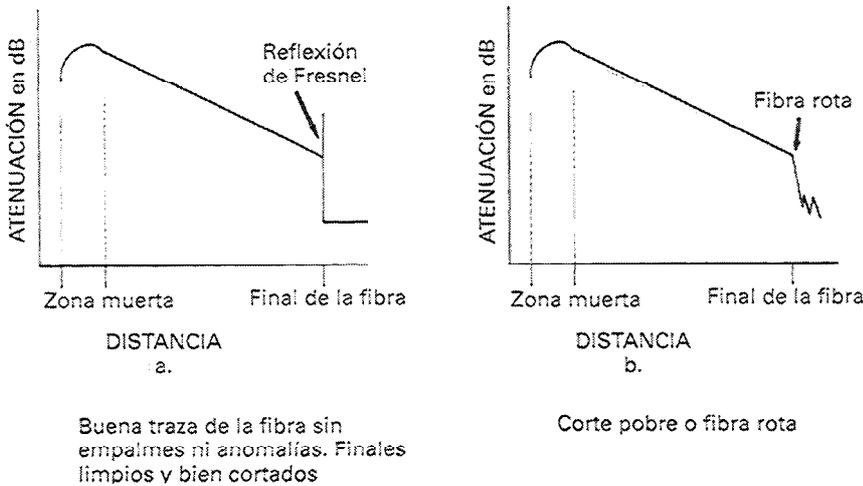


FIGURA 13.2. Trazados de curvas típicas de un OTDR.

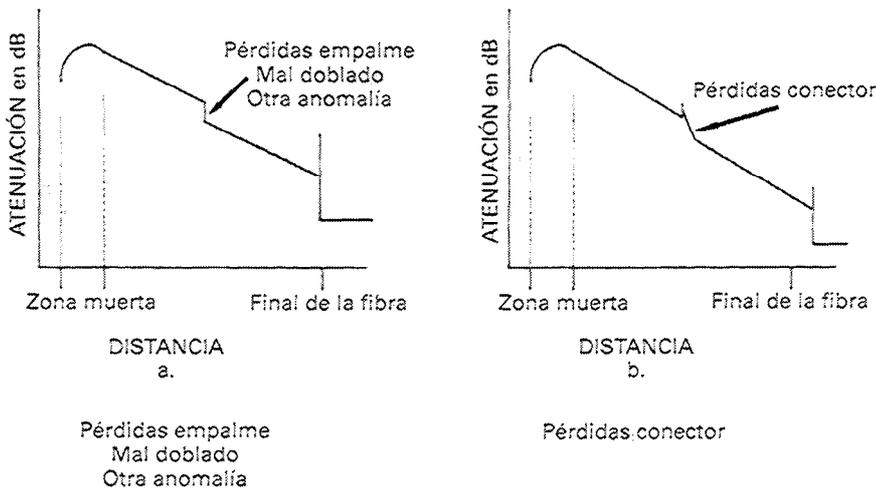


FIGURA 13.3. Trazados de curvas típicas de un OTDR.

Si se conoce con precisión tanto el porcentaje en exceso como el índice de refracción, pueden realizarse los cálculos siguientes para determinar la localización física de la anomalía:

$$d_{\text{rotura física}} = \frac{d_{\text{OTDR rotura}}}{(1 + d_{\% \text{ exceso}}/100)}$$

$d_{\text{rotura física}}$  = Distancia real del cable hasta la rotura de la fibra

$d_{\text{OTDR rotura}}$  = Longitud de la fibra rota medida con un OTDR utilizando un índice de refracción preciso para el núcleo de la fibra

$d_{\% \text{ exceso}}$  = Cantidad en exceso (en porcentaje) de la fibra dentro del cable

Para longitudes cortas de cable esto nos proporciona resultados aceptables. Pueden conseguirse mejores precisiones utilizando el siguiente método comparativo. Este método se puede utilizar aun en el caso de que no sean conocidos los índices de refracción o los porcentajes de exceso de fibra.

### Procedimiento

1. Utilice un OTDR y mida la distancia hasta un punto de referencia conocido de la fibra en el cable, como puede ser una unión o el final de fibra localizado previamente y anote su valor como  $d_{\text{OTDR Ref}}$ . Se debería utilizar una fibra que no esté dañada (ver Fig. 13.4).

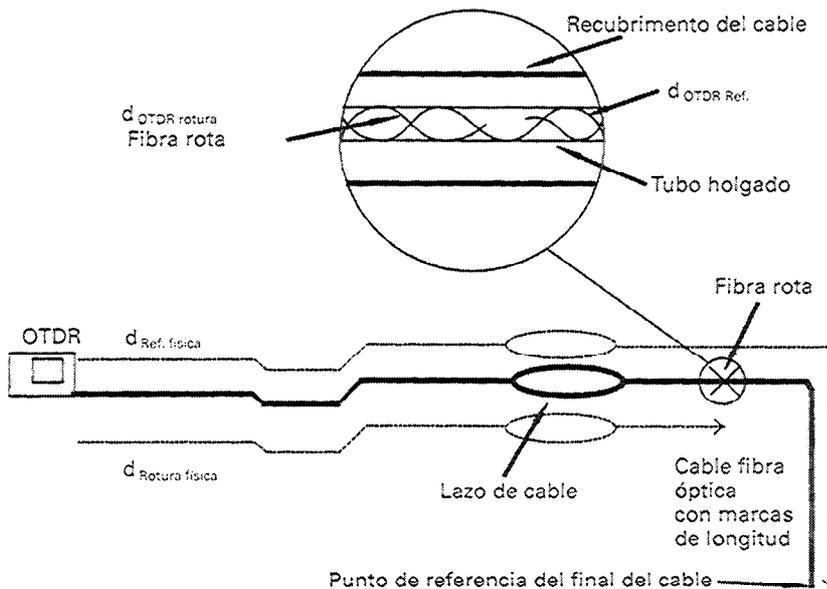


FIGURA 13.4. Localización de la rotura física de la fibra.

2. Medir la longitud física del cable hasta el mismo punto de referencia tal y como se hizo en el apartado 1, utilizando sólo las marcas en el cable, y anotarlo como  $d_{Ref. física}$ .
3. Etiquetar estas distancias como sigue:

$d_{OTDR Ref}$  = Longitud de la fibra medida con el OTDR hasta el punto de referencia.

$d_{Ref. física}$  = Longitud física real del cable determinada por las marcas en el mismo hasta el punto de referencia.

4. Utilizando el OTDR, medir la longitud de la fibra rota (en metros o en pies):

$d_{OTDR rotura}$  = Longitud de la fibra partida medida con el OTDR

5. Calcular la distancia física real del cable hasta la rotura de la fibra, como sigue:

$$d_{Rotura física} = \frac{d_{OTDR rotura} \times d_{Ref. física}}{d_{OTDR Ref}}$$

Esta distancia no es la distancia del camino interior aunque sí la longitud del cable. Siganse las marcas de longitud por la funda del cable a fin de determinar la localización de la rotura.



# Capítulo 14

## PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE UNA INSTALACIÓN

---

### 14.1. VERIFICACIONES DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA

---

Un cable de fibra óptica debería verificarse en tres etapas separadas durante su instalación:

1. *Verificación en el carrete.* Después de haberse recibido el cable del suministrador y cuando todavía se encuentra en su carrete de embarque, se ensayan los posibles defectos de fabricación o de las averías provocadas durante el transporte. Cualquier anomalía no especificada por el suministrador debería ser comunicada inmediatamente al fabricante o al transportista. El cable no debería ser instalado hasta después de ser sometido a este ensayo previo.
2. *Verificación de la realización de los empalmes.* Esta verificación debe ser efectuada lo antes posible una vez fijado el cable en su ubicación, habiéndose completado todos sus empalmes, y mientras los equipos de técnicos empalmadores están aún presentes en el lugar. Esta verificación puede identificar cualquier avería resultante del proceso de la instalación. Puede también facilitar la verificación de las pérdidas en los empalmes antes de que se hayan terminado de montar las cajas de empalmes.
3. *Ensayo de aceptación.* Este ensayo se lleva a cabo después de que el sistema de fibra óptica se haya instalado completamente y esté listo para su calificación final. Proporciona los datos finales de calificación para la aceptación de la ingeniería y los datos para el archivo.

#### 14.1.1. Verificación de los carretes

Tan pronto como los carretes de cable hayan sido entregados, debería verificarse cada fibra del carrete con un OTDR (ver Fig.14.1). Esto probará que las fibras ópticas

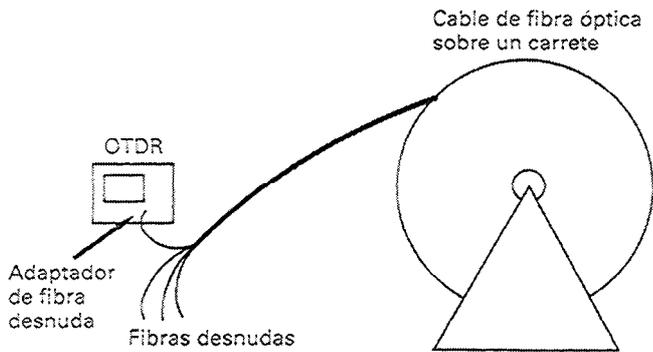


FIGURA 14.1. Verificación de un carrete de fibra óptica.

han sido recibidas en buenas condiciones del suministrador y que no están dañadas. Las trazas de las curvas de las fibras obtenidas con el OTDR deberían ser grabadas e introducidas en disquetes o registradas en hojas de papel.

### Procedimiento

1. Seleccionado un extremo libre del cable de fibra óptica, proceder a pelarlo hasta tener todas las fibras ópticas al descubierto (evitar que el carrete se desenrolle desordenadamente).
2. Pelar y limpiar cada fibra individualmente.
3. Utilizando un adaptador de fibra desnuda (empalme mecánico), conectar un OTDR a cada fibra y registrar cada una de sus trazas. Utilizar fibra para zona muerta si fuera necesario. Para cada fibra, registrar lo siguiente para cada una de las longitudes de onda de trabajo:

- atenuación total
- atenuación por kilómetro
- trazas de las fibras obtenidas con el OTDR
- cualquier anomalía (ampliarla con el zoom y registrarla)
- longitud total del carrete (marcado sobre el propio carrete o indicado en las marcas del mismo cable)
- largo total de la fibra según indicación del OTDR
- número de identificación del carrete, fabricante del cable, tipo de cable, número de fibras en el cable
- dirección en la que se efectúa la medida
- fecha
- equipos de ensayo y números de serie de cada uno de éstos
- componente humano del equipo de medidas

Todas las anomalías deberían ser conocidas inmediatamente. Cada fibra debería estar libre de anomalías y no tener puntos visibles de empalmes.

- Después de haber verificado todas las fibras, cortar los extremos de las fibras seleccionadas y cerrar el final del cable sellándolo a fin de evitar la entrada de suciedad y polvo. Asegurar el cable de nuevo al carrete.

Confirmar todos los resultados con las especificaciones del fabricante o de su ingeniería. Para aquellas instalaciones donde no podemos disponer de un OTDR, una verificación con un medidor de potencia óptica debería conducirnos a confirmar la atenuación tal y como especifica el fabricante. Para este ensayo se requiere tener acceso a ambos extremos del cable de fibra óptica.

#### 14.1.2. Verificación de la realización de los empalmes

Después de que cada cable haya sido empalmado, pero antes de recubrir definitivamente el empalme de forma permanente, y mientras el equipo de técnicos empalmadores aún permanece en el lugar, deberían ser verificados los largos del cable instalado y los empalmes (ver Fig. 14.2). Si solamente se ha instalado un largo de cable, este ensayo puede hacerse inmediatamente tras la finalización de la conexión de la fibra óptica.

Las verificaciones se efectúan para cada fibra, en todas las longitudes de onda operativas, y en ambas direcciones.

#### Procedimiento

- Dos equipos de técnicos, en contacto por radio, preparan los extremos alejados de los cables para el ensayo.

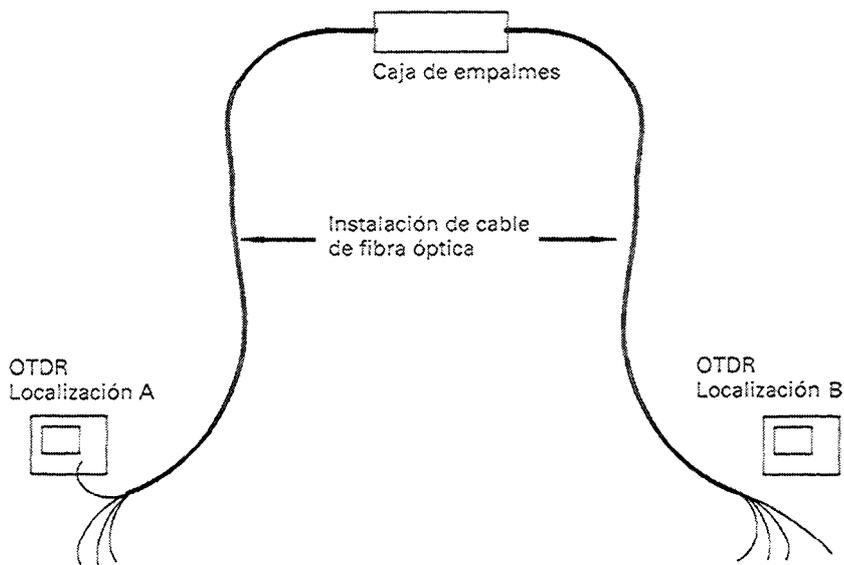


FIGURA 14.2. Ensayo de pérdidas en los empalmes de la fibra óptica.

2. Se identifica la secuencia de las fibras que van a ser verificadas y se comienza el ensayo. Se utilizará fibra para zona muerta caso de ser necesario.
3. Cada fibra es ensayada en una dirección, y después reensayada en la dirección opuesta. La información siguiente deberá ser registrada:
  - atenuación total de toda la longitud
  - atenuación por kilómetro
  - trazas de todas las curvas obtenidas
  - cualquier anomalía (ampliarlas con el zoom e investigarlas)
  - pérdidas en los empalmes (ganancias) y trazas de éstas
  - longitud total del cable obtenida por las marcas indicadoras del propio cable
  - longitud total de la fibra que indica el OTDR
  - fabricante del cable, tipo de cable, número de fibras en el cable, número de identificación del carrete de cable
  - dirección en la que se efectúa la medida
  - fecha
  - equipos de ensayo y sus números de serie
  - miembros del equipo humano

Las pérdidas en los empalmes, o las ganancias, y todo el conjunto de pérdidas son tabuladas para cada fibra y cada correspondiente longitud de onda. Las pérdidas en los empalmes, o las ganancias, procedentes de ambos OTDR son registradas y grabadas, y se calcula la media para obtener el total de las pérdidas en dichos empalmes. Si se ha registrado una ganancia se anotará con signo negativo.

4. Todos los empalmes defectuosos deberían identificarse y rehacerse inmediatamente. Se debería informar inmediatamente de todas las anomalías que presenten valores de pérdidas superiores a las de las especificaciones de la ingeniería.
5. Los tramos de cable instalados recientemente no suelen presentar anomalías ópticas que supongan pérdidas superiores a las especificadas. Asegurarse de que no existen fibras cortadas.
6. Después de que todas las fibras ópticas y los empalmes han sido verificados de acuerdo a las especificaciones de la ingeniería, efectuar el montaje definitivo asegurando y fijando el cable y las protecciones de los empalmes adecuadamente.

Para un equipo de personal no experimentado, esta verificación puede efectuarse durante el proceso de fusión de las uniones para poder proceder a la confirmación de los resultados del mismo. Las fibras ópticas deberían ser reensayadas nuevamente una vez que las protecciones de los empalmes hayan sido instaladas definitivamente.

### 14.1.3. Ensayo de aceptación

Una vez que la instalación ha sido completada y está dispuesta para la conexión del módem, el ensayo de aceptación final consiste en conocer que el enlace funciona correctamente entre los conectores, cumpliendo con las especificaciones del proyec-

to de ingeniería. Este ensayo final suele realizarse dirigido por el mismo ingeniero, o por técnicos supervisados por ingenieros que están presentes.

Se realiza el siguiente ensayo en toda la longitud de la instalación y para cada fibra óptica:

1. Se conecta un OTDR a un extremo del enlace de fibra óptica.
2. Se explora el enlace completo, y se memorizan las trazas. Se registra y graba la siguiente información obtenida a todas las longitudes de onda operativas:
  - atenuación total a lo largo del enlace
  - atenuación por kilómetro
  - trazas obtenidas de las fibras
  - cualquier anomalía (ampliarlas con el zoom e investigar)
  - pérdidas en los empalmes
  - pérdidas en los conectores
  - longitud total del enlace obtenida de las marcas propias del cable
  - longitud total del enlace obtenida mediante el OTDR
  - fabricante del cable, tipo de cable, número de fibras en el cable
  - dirección en la que se efectúa la medida
  - fecha
  - equipos de ensayo y números de serie de los mismos
  - equipo de componente humano
3. Se conectan un generador de luz y un medidor de potencia de luz. Se efectúan medidas de potencia de luz en cada una de las fibras ópticas para todas las longitudes de onda de trabajo a utilizar.
4. Se conecta un medidor de pérdidas de retorno y se registra la potencia reflejada de cada fibra en ambos equipos terminales (si ello es posible).
5. Resulta de gran ayuda por necesidades de mantenimiento una medida con medidor de potencia de la potencia óptica del equipo transmisor. La potencia de salida del equipo óptico se registra para un patrón de salida común, tal como un patrón digital de todo unos. Los niveles de potencia del equipamiento óptico se miden a la salida de los equipos y en los puntos de recepción. Los datos de configuración y localización, y los niveles, serán registrados adecuadamente.

## 14.2. CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE LA FIBRA

---

Los criterios de aceptación de la fibra óptica deben someterse a las especificaciones de la ingeniería.

*Máxima atenuación de una fibra óptica en dB a una longitud de onda determinada:*

$$\text{Atenuación}_{\text{máx}} = d_{\text{cable}} \times L_{\text{dB/km}} + (L_{\text{dB/Unión}} \times N_{\text{uniones}})$$

donde:  $d_{\text{cable}}$  = longitud del cable en kilómetros

$L_{\text{dB/km}}$  = Especificaciones del fabricante de la fibra en cuanto a las pérdidas por kilómetro a una longitud de onda determinada

$L_{\text{dB/Unión}}$  = Pérdidas máximas por unión a una longitud de onda determinada

$N_{\text{uniones}}$  = Número de uniones del cable objeto de las mediciones de verificación

**Promedio de la atenuación por kilómetro a una longitud de onda determinada:**

$$\text{Promedio}_{\text{dB/km}} = \text{Atenuación}_{\text{máx}} / d_{\text{cable}}$$

**Pérdidas máximas en los empalmes.** De acuerdo con las especificaciones de la ingeniería, las pérdidas máximas por empalmes dependen del tipo de fibra, del tipo de empalme y de la longitud de la onda de luz empleada. Generalmente, las pérdidas máximas en los empalmes de tipo mecánico es inferior a 0,5 dB. Para los empalmes de fusión estas pérdidas son generalmente menores que 0,1 dB.

**Pérdidas máximas de conexión.** Las pérdidas de conexión dependen del tipo de fibra, tipo de conector y longitud de onda empleada, y son generalmente inferiores a 1,5 dB. Un buen valor medio de pérdidas de conexión sería de unos 0,5 dB o menos.

### **14.3. VERIFICACIÓN DE LA TASA DE ERROR DE BIT (BERT)**

La verificación de la tasa de error de bit (BERT) es un ensayo punto a punto realizado para comprobar la calidad del sistema digital o del canal (ver Fig. 14.3). Este ensayo se realiza generalmente después de que el equipo haya sido instalado completamente y se encuentre totalmente operativo, aunque se realiza antes de ponerlo en servicio definitivo. También se usa para verificar el sistema de comunicación o canal; no obstante, el sistema de comunicación o canal debe desconectarse para realizar este ensayo.

El ensayo mide cuántos bits de la transmisión de datos se reciben con error. La medida es la denominada tasa de error de bit (BER), que es la relación entre el número total de bits recibidos con error y el número total de bits transmitidos:

$$\text{BER} = \frac{\text{Número de bits recibidos con error}}{\text{Número total de bits transmitidos}}$$

Un valor de BER de  $10^{-9}$  indica que, en promedio, se recibe un error de bit por cada mil millones de bits enviados. Un valor de BER de  $10^{-9}$  es adecuado para muchas instalaciones, incluyendo las comunicaciones por voz. Para los sistemas de fibra óptica de alta calidad, un valor de BER de  $10^{-11}$  es de uso común.

Puede utilizarse el procedimiento que sigue para obtener el BER de un canal de comunicación. Mientras se efectúa este ensayo debe dejarse el canal sin servicio.

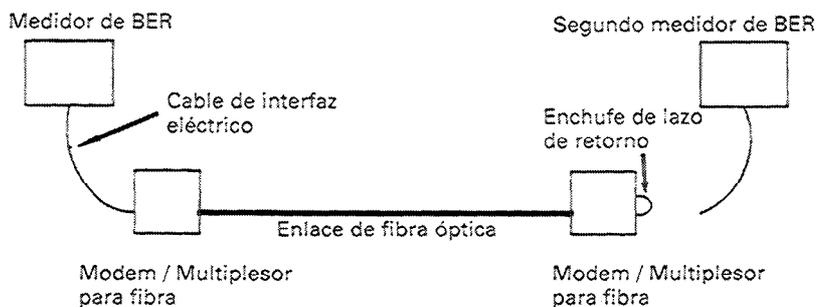


FIGURA 14.3. Verificación de la tasa de error de bit (BERT).

### Procedimiento

1. El canal o sistema de comunicación que va a ensayarse debe quedar fuera de servicio. Los DTE\* de ambos extremos del canal deben ser desconectados.
2. Se conectan a ambos extremos del canal sendos equipos de BERT utilizando interfaces eléctricas estándar como el RS232, RS449, V.35, T1, etc.
3. Si sólo se dispone de un equipo de BERT, el final o lado opuesto del enlace deberá retornarse mediante un bucle para completar el camino de la señal de ensayo. Si no se dispone de un bucle de retorno, entonces se usará un bucle de retorno obtenido por software (no obstante, el canal completo hasta la interfaz de conexión no será ensayado).
4. Los equipos de ensayo están configurados para transmitir un patrón de ensayo pseudoaleatorio que simulará el tráfico real, como «2047 o  $2^{23} - 1$ ».
5. Se arranca con la señal de ensayo y se la hace circular durante un período determinado para obtener el BER del enlace. La duración del ensayo deberá ser lo suficientemente larga como para proporcionarnos una garantía razonable de las posibilidades del enlace. Son frecuentes los ensayos de entre uno o dos días de duración para enlaces de elevada densidad de datos. Puede utilizarse un temporizador de eventos para registrar los errores erráticos.
6. Tras el período de ensayo, los datos registrados de BER deberían cumplir o exceder las especificaciones del sistema en cuanto al BER.

**Ensayo de la tasa de error de bit: un ejemplo.** Disponemos de un enlace de transmisión de datos por fibra óptica, tipo T1 DS1, de reciente instalación, que va a ser ensayado antes de su puesta en servicio. Si el suministrador nos facilita en las especificaciones técnicas que su equipo de comunicaciones proporcionará valores de BER iguales o mejores que  $10^{-10}$ , ¿puede ser esto verificado?

La petición anterior puede ser verificada durante el período de ensayo. Después de que el equipo ha sido completamente instalado y está operativo, se han conectado dos equipos verificadores de BER al canal a fin de comprobar los datos ofertados por el fabricante. Los instrumentos de medida de BERT utilizan para conectarse al canal de comunicación la interfaz estándar a cuatro hilos DS1. Los ensayadores de BERT están

\* Nota del traductor. DTE: Data Terminal Equipment; Equipo Terminal de Datos, por ejemplo, un módem.

configurados y preparados para ensayar el canal utilizando el patrón «QRSS». El régimen de datos del T1 es de 1.544 Mbps.

El BER reclamado es de  $10^{-10}$  o, en promedio, 1 bit de error por cada  $10^{10}$  bits transmitidos. La cantidad de tiempo requerido para transmitir  $10^{10}$  bits es la siguiente :

Tiempo requerido = Número de bits a ser transmitidos/Régimen de datos

$$\text{Tiempo requerido} = (10^{10}/1,544) \times 10^{-6}$$

Tiempo requerido = 6.476 segundos o 1.8 horas.

Para un régimen de datos de 1,544 Mbps la transmisión debe durar al menos 6.476 segundos o 1.8 horas para los  $10^{10}$  bits transmitidos. La duración de la transmisión puede ser duplicada o triplicada para aumentar el nivel de fiabilidad.

Se decidió ejecutar el ensayo durante 5.4 horas (19.428 segundos).

Cuando se completó la transmisión de ensayo, fueron registrados un total de dos errores de bit.

El BER verificado queda de la siguiente forma :

$$\text{Total de bits transmitidos} = 19.428 \text{ segundos} \times 1,544 \text{ Mbps}$$

$$\text{Total de bits transmitidos} = 2.9997 \times 10^{10}$$

$$\text{BER} = \text{Número de bits de error recibidos/Número total de bits transmitidos}$$

$$\text{BER} = (2/2.9997) \times 10^{10}$$

$$\text{BER} = 6,667 \times 10^{-11}$$

Durante el tiempo del ensayo, el BER fue mejor que el especificado por el fabricante.

#### 14.4. ENSAYO DEL UMBRAL DEL RECEPTOR

*El ensayo del umbral del receptor* está orientado a determinar el umbral de potencia óptica de dicho receptor (ver Fig. 14.4). Es la mínima potencia de señal de luz requerida en la entrada del receptor óptico para que cumpla con las especificaciones de BER del fabricante para un sistema digital, o las especificaciones de relación señal/ruido (S/N) para un sistema analógico.

Este valor puede utilizarse para controlar las características del receptor y determinar el *margen óptico* del enlace.

A fin de medir el umbral de potencia óptica de un receptor puede utilizarse el siguiente

##### Procedimiento

1. Anotar los valores del BER del equipo en un sistema digital o la relación S/N en un sistema analógico —así como los valores umbrales del receptor— extraídos de las especificaciones del fabricante.

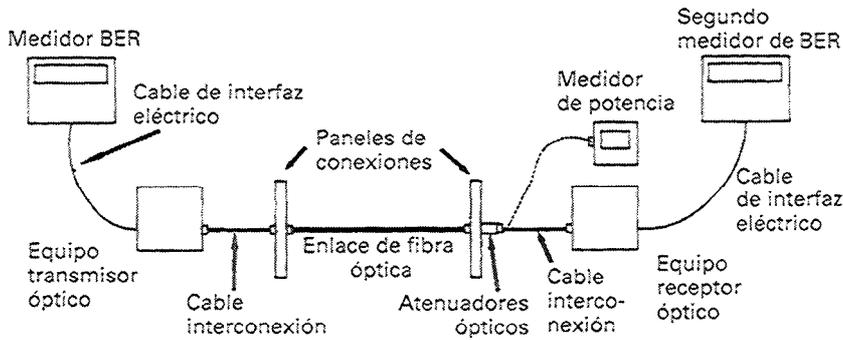


FIGURA 14.4. Ensayo del umbral óptico mediante el BER.

2. Tómese un equipo óptico que no se esté utilizando, a fin de efectuar este ensayo. Para un sistema digital, conectar un verificador de BER al equipo óptico y configurarlo para una prueba BER estándar. Para un sistema analógico, fíjense los valores de S/N del ensayo correspondiente.
3. Realizar el ensayo BER utilizando un patrón pseudoaleatorio, y registrar el BER del sistema. Para un sistema analógico, realizar el ensayo de S/N y medir la relación S/N.
4. Desconectar el latiguillo de entrada al receptor de luz y conectarlo a un medidor de potencia de luz. Medir los valores de la potencia óptica media recibida en dBm, para el valor de BER o la relación S/N del sistema medido.
5. Reconectar el latiguillo de entrada de señal al receptor óptico.
6. Intercalar los atenuadores ópticos en el enlace hasta que los valores de BER o de S/N alcancen los mínimos de las especificaciones del fabricante.
7. Desconectar de nuevo el latiguillo de entrada al receptor y reconectarlo a un medidor de potencia de luz. Medir en dBm la potencia media de luz recibida en el ensayo para el mínimo valor de BER o de S/N. Éste es el umbral de potencia óptica del receptor, que debería ser comparado con las especificaciones del fabricante. Una mayor reducción de la señal óptica degradará los requisitos del sistema por debajo de las especificaciones dadas por el fabricante.
8. Para un enlace en full-duplex \*, efectuar este ensayo en una dirección y después en la dirección contraria a fin de determinar los valores de los umbrales de ambos receptores ópticos.

El margen óptico en dB es el valor de la atenuación añadida al enlace operativo, para reducir los valores de BER o de S/N hasta los valores mínimos dados por el fabricante.

\* Nota del traductor: Enlace en full-duplex es un enlace de comunicaciones que tiene la capacidad de recibir y transmitir a la vez.



# Capítulo 15

## EQUIPO ÓPTICO

---

*Equipo óptico* es un término general utilizado aquí para referirnos a un equipo terminal de fibra óptica que convierte las señales eléctricas en señales de luz, o uno que devuelve posteriormente dichas señales luminosas a su forma original eléctrica. Este equipo incluye convertidores de fibra óptica, repetidores o módems. En cuanto al diseño, el equipo es generalmente simple; fácil de instalar, con una configuración requerida simple; y fácil de mantener. El equipo óptico puede también combinarse con otros equipos de comunicaciones para proporcionar una unidad más integrada. Es un equipo al que nos referimos especialmente por su función principal, y posee módulos enchufables que proporcionan conversiones ópticas a eléctricas. Dos tipos de equipos populares son los multiplexores y los conjuntos RAL. Ambos son unidades multifunción con módulos disponibles de conversión electro-óptica.

### 15.1. MÓDEM ÓPTICO

---

Para aquellas instalaciones que requieren sólo que unas pocas señales sean transmitidas a distancia, se puede utilizar un módem óptico individual (ver Fig. 15.1). Hay módems ópticos disponibles para la mayoría de las señales de comunicaciones. Un equipo de módem y un par de fibras ópticas (dos fibras —una para transmisión y la otra para recepción—) se utilizan para transmitir cada señal. La ventaja de esta configuración es que los módems ópticos son relativamente económicos, fáciles de utilizar (muchos requieren muy poca o ninguna configuración), y se encuentran disponibles para muchas aplicaciones. La desventaja de estas configuraciones es la necesidad de tener fibras o pares de fibras dedicadas exclusivamente a cada señal. Las fibras ópticas disponibles en un cable se pueden ocupar rápidamente. La mayoría de los

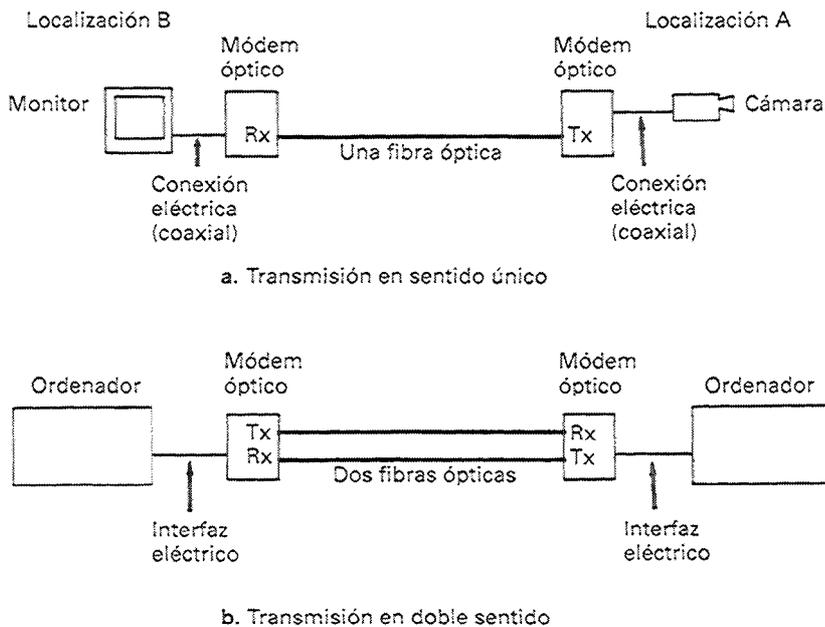


FIGURA 15.1. Enlace con módem óptico.

enlaces ópticos utilizan un par de fibras ópticas, a fin de proporcionar una comunicación completa de ida y vuelta.

Para algunos sistemas, como enlaces de vídeo o sistemas megafónicos, sólo en canales de voz, se requiere un único sentido de comunicación, y por consiguiente, se utiliza sólo una fibra óptica. La tabla siguiente ilustra varias aplicaciones de enlaces con una, dos o cuatro fibras ópticas.

Aplicación	Una fibra	Dos fibras	Cuatro fibras
Voz (un canal, megafonía)	*		
Voz (telefonía)		*	
Vídeo (seguridad)	*		
Vídeo (interactivo)		*	
Sistemas de Control (PLC)		*	
Telemetría	*	*	
Comunicación de Datos		*	
Multiplexor		*	
Ethernet		*	
Token ring		*	
FDDI		*	*
Sonet		*	*

Hay disponibles nuevas tecnologías que combinan transmisión y recepción de señales ópticas a través de una única fibra. No obstante, no se utilizan mucho a causa de su atenuación y costo adicionales.

## 15.2. MULTIPLEXOR

Una instalación *multiplexada* permite combinar diversas señales en una única fibra óptica. Esto reduce el número de fibras requeridas para una instalación, lo cual supone una notoria reducción del coste en enlaces de larga longitud. La mayoría de los multiplexores disponen también de cierta capacidad de administración de la red. Esto permite a un operador controlar un multiplexor desde una ubicación central. Los multiplexores suelen ser caros y complicados de instalar. El personal que opera con estos equipos puede que requiera una formación específica por parte del fabricante. Tal clase de equipamiento se utiliza comúnmente por amplias redes portadoras de comunicaciones, como son las compañías telefónicas.

Como se ve en la Figura 15.2, los multiplexores tienen la capacidad de combinar un cierto número de señales sobre un enlace de transmisión de dos fibras. Los tipos más elaborados permiten combinar diferentes clases de señales, como voz, vídeo y datos, todos entremezclados.

Otros multiplexores ofrecen solamente una interfaz de datos o de voz. Cada señal de comunicación se conecta al interface eléctrico del multiplexor específico para cada tipo de señal.

Las señales de vídeo utilizan cables coaxiales. Las señales de ordenador de tipo punto a punto pueden utilizar varios interfaces, incluyendo los RS232, RS449 o V.35. Las conexiones telefónicas pueden realizarse con los interfaces POTS estándar a dos hilos, señalización E&M o conexión T1-DS1.

## 15.3. AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Los amplificadores ópticos se utilizan para lograr grandes distancias de transmisión, por encima de los 200 km, evitando que la señal se degenera. Se utilizan con fibras

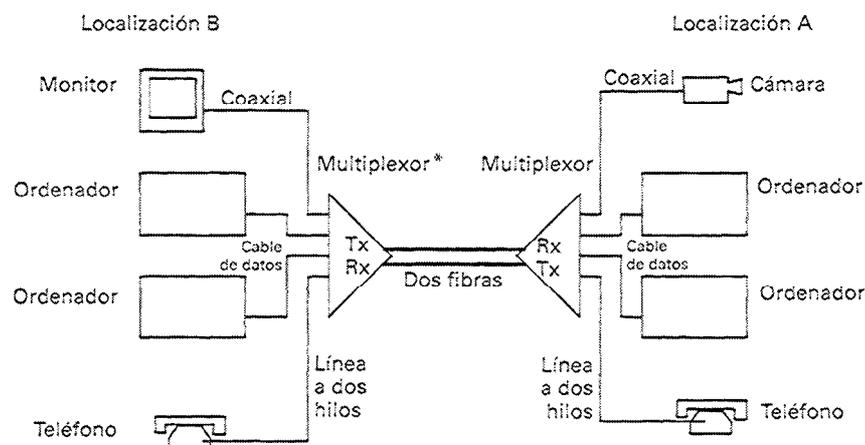


FIGURA 15.2. Enlace multiplexado.

\* Nota del traductor: Debe entenderse que donde dice multiplexor, existe también un demultiplexor.

monomodo, con generadores de luz láser, y operando en longitudes de onda de 1.310 o 1.550 nm. Los amplificadores ópticos son tipos especiales de láseres que refuerzan directamente la intensidad de la señal óptica sin convertirla en señal eléctrica.

*La salida de un amplificador de potencia de luz es muy fuerte, y deberían tomarse precauciones extremas cuando se trabaja con este tipo de equipos en prevención de daños a los ojos. Deberían apagarse todos los equipos antes de proceder a desconectar cualquier fibra óptica. Nunca encender un equipamiento si todas las fibras no están debidamente conectadas al equipo.*

Solamente debe ser conectada la energía eléctrica al equipo amplificador cuando todas las fibras ópticas hayan sido completamente conectadas a su lugar adecuado. Los amplificadores ópticos deberían poseer un sistema de interconexión de seguridad que desconecte la salida del generador óptico láser cuando el circuito del enlace está cortado o no conectado.

Cuando ensayamos un enlace de fibra óptica, con un OTDR o con un medidor de potencia, que lleva un amplificador de potencia instalado, este amplificador de potencia debería ser apagado y desconectado del enlace de fibra óptica. Cada segmento de fibra óptica debe ser analizado y ensayado separadamente. Debido a que un amplificador de luz solamente permite a las señales ópticas su paso en una dirección, y a que el OTDR requiere un paso del flujo de señales en sentido bidireccional a través de la fibra óptica (señal primaria de salida y pulsos de luz reflejada), este último no funcionará en este caso.

Los amplificadores ópticos se suelen conectar en los puntos donde se encuentran los equipos ópticos, a fin de proporcionar un poderoso refuerzo para la transmisión óptica. También se localizan a mitad de camino de la instalación, para obtener la amplificación y el consiguiente reforzamiento de las señales ópticas débiles a lo largo de las rutas de fibra óptica (ver Fig. 15.3). Algunos amplificadores de mitad de camino no regeneran la señal (solamente la amplifican), por lo que en estos casos la distorsión de los pulsos debido a la dispersión de la fibra debería tratarse con cuidado especial. La ubicación de estos amplificadores de mitad de camino requiere un pequeño control medioambiental mediante un cierre o cajero que los aísla del exterior.

#### **15.4. GENERADORES DE LUZ**

Existen dos tipos de generadores de luz para los equipos ópticos en transmisiones por fibras ópticas: los *diodos emisores de luz (LED)* y los *láseres*.

Los LED son muy económicos y se utilizan frecuentemente en conexiones de corta distancia, en aplicaciones de bajo régimen de transmisión de datos. Los hay disponibles para las tres típicas longitudes de onda de luz, aunque son más comunes para 850 nm y 1.310 nm (los LED de 850 nm son generalmente los menos caros). La potencia de luz generada por un LED cubre un ancho espectral amplio que va desde 20 hasta 80 nm (ver Fig. 15.4). El LED es más estable y más fiable que el láser en la mayoría de los entornos medioambientales.

Los láseres son más caros. Las ventajas de utilizar un láser provienen del gran ancho de banda de modulación (por encima de 2 GHz), potencia óptica de salida ele-

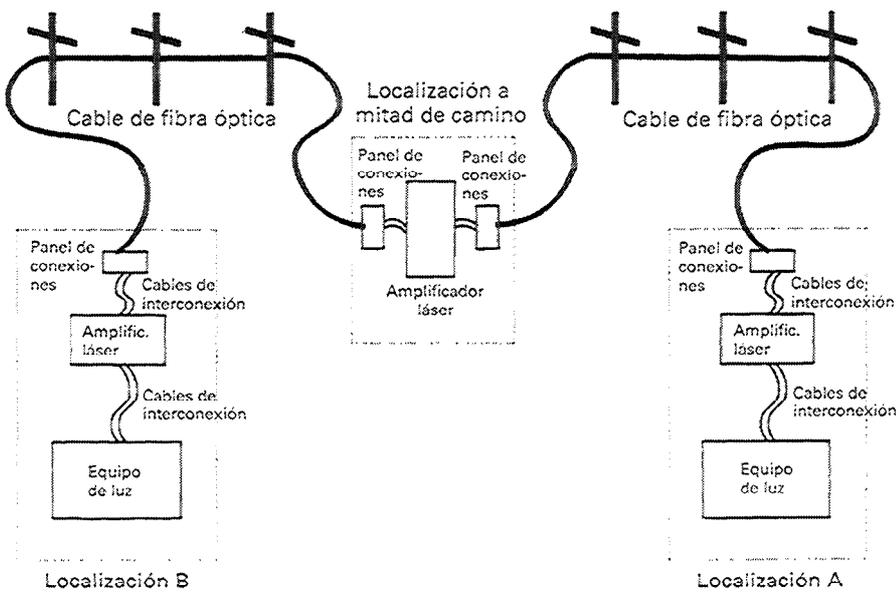


FIGURA 15.3. Sistema de amplificadores por láser.

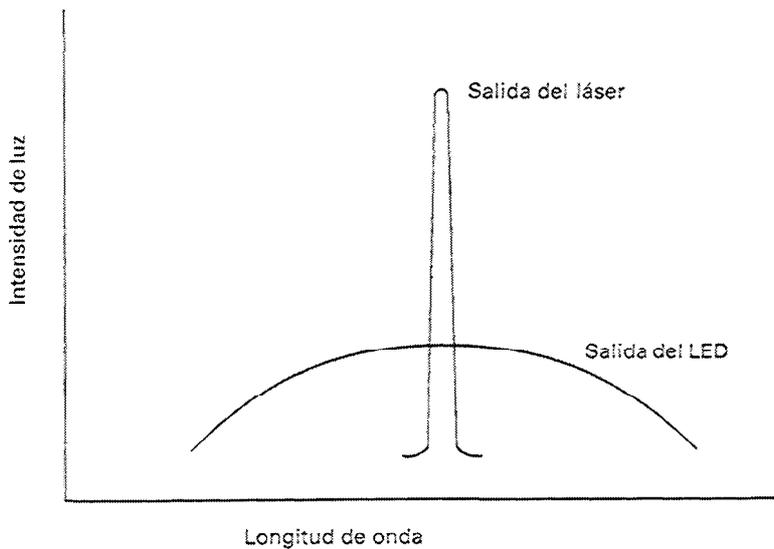
vada y una reducida anchura espectral. Se aplican cuando se precisa cubrir largas distancias y transmitir una gran cantidad de datos. Los láseres se emplean normalmente en aplicaciones con fibras ópticas monomodo, y su potencia de luz cubre un espectro muy estrecho, usualmente menos de 3 nm. Así se consiguen valores muy bajos de dispersión cromática y, consecuentemente, un mayor ancho de banda sobre la fibra. Su número de horas de vida es inferior al de los LED. Los láseres son sensibles al medio ambiente (especialmente a las variaciones de temperatura), características que se reflejan en los parámetros de la potencia óptica sobre la fibra.

*La potencia de salida de un láser es muy elevada y por lo tanto puede dañar los ojos. Nunca mire hacia la luz de un láser o hacia una fibra acoplada a un láser. Asegúrese de que todas las fuentes de láser han sido apagadas con anterioridad al proceso de desconexión de las fibras. Se debería tener mucho cuidado cuando se trabaja con generadores láser.*

## 15.5. DETECCIÓN ÓPTICA

La detección óptica tiene lugar en los circuitos receptores ópticos. El fotodetector es el elemento que recibe la señal de la fibra óptica y la convierte de nuevo en señal eléctrica. Los tipos más comunes de fotodetectores son los *fotodiodos tipo zona P-zona intrínseca-zona N (PIN)* y los *fotodiodos de avalancha (APD)*.

Los fotodiodos PIN son económicos, pero requieren un elevado nivel de potencia de señal óptica para generar una señal eléctrica. Se utilizan más comúnmente en aplicaciones de comunicaciones de corta distancia



**FIGURA 15.4.** Espectro de un generador de luz.

Los fotodiodos APD son más sensibles a los niveles de luz óptica más bajos y pueden ser utilizados en transmisiones de más larga distancia. Son más caros que los fotodiodos PIN y son sensibles a las variaciones de temperatura.

Ambos fotodiodos pueden operar de forma similar, en regímenes altos de transmisión de datos.

Algunos fotodetectores de circuitos receptores operan bajo un estrecho *rango dinámico óptico*.

*El rango dinámico óptico de un receptor es el paso o ventana de nivel de luz en dBm dentro del cual puede aceptar la potencia óptica.*

El receptor aceptará luz solamente si cumple los niveles predeterminados que el fabricante ha fijado (en dBm). Si el nivel de luz es excesivo, el receptor se saturará, y el equipamiento no funcionará. Esto suele ocurrir cuando no existe la suficiente atenuación en el enlace óptico. Para remediar este problema, se intercalan unos atenuadores en el enlace óptico, hasta que el receptor entre dentro de su rango dinámico. Los atenuadores pueden instalarse bien en los conectores del equipo, bien en los paneles de interconexión de fibra del receptor o del transmisor.

Si se instala en el transmisor, asegurarse de que las pérdidas por retorno entran dentro de las especificaciones del fabricante del equipo.

Si la luz es demasiado débil, el receptor no será capaz de detectar la señal, y el equipo no funcionará. En este caso, debe volverse a quitar la atenuación del enlace de fibra óptica. Muchos receptores previstos para operar en circuitos de comunicación de corta distancia, como en comunicaciones RAL, están proyectados para no saturarse cuando se recibe un elevado nivel de potencia de luz elevado (enlace sin atenuación).

# Capítulo 16

## INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

---

### 16.1. INSTALACIÓN EN OFICINAS

---

La Figura 16.1 muestra una instalación típica en edificios de oficinas. El equipo óptico del edificio A está ubicado en un recinto seguro y cerrado. El equipamiento está montado dentro de armarios estándar de 19 pulgadas (medidas internas de ancho) o sobre simples estanterías o racks. También son comunes dimensiones de 23 o 24 pulgadas para el ancho de estos equipos.

Los armarios proporcionan, al estar cerrados, un aspecto exterior más ordenado para la instalación. Deben tener, al menos, las puertas delanteras y traseras adecuadas para la entrada de los equipos y el paso de los cables. Las puertas frontales con cristales oscuros permiten ver la indicación de las luces mostrando el estado de cada equipo, para el monitoreo sin necesidad de abrir puertas. En salas de mucha actividad, las puertas de los armarios deben llevar llaves para conseguir así una seguridad adicional. En la Figura 16.1, el rack central está destinado a la instalación del equipo óptico; el rack de la derecha está destinado a ubicar el panel de conexiones de cables de fibra óptica. El ejemplo de la Figura 16.1 lleva un equipo óptico y un panel de conexiones en diferentes racks, lo cual es común en instalaciones que necesitan toda una sala de equipos para su futura y plena expansión. En sistemas más simples, los equipos ópticos y paneles de conexiones pueden ir ubicados dentro del mismo rack. La Figura 16.2 nos muestra un montaje típico de armario-rack donde el equipamiento y el panel de conexiones se han instalados juntos.

En el edificio A de la Figura 16.1, dos latiguillos de fibra óptica conectan el equipo óptico con el panel de conexiones situado en el rack adyacente. La mayoría de los equipos ópticos utilizan dos fibras ópticas para comunicaciones en *full-duplex*, una fibra para transmitir la señal y la otra fibra para recibir la señal. Se pueden adquirir equipos ópticos que utilizan una única fibra óptica para transmitir en full-duplex, aunque no son tan populares.

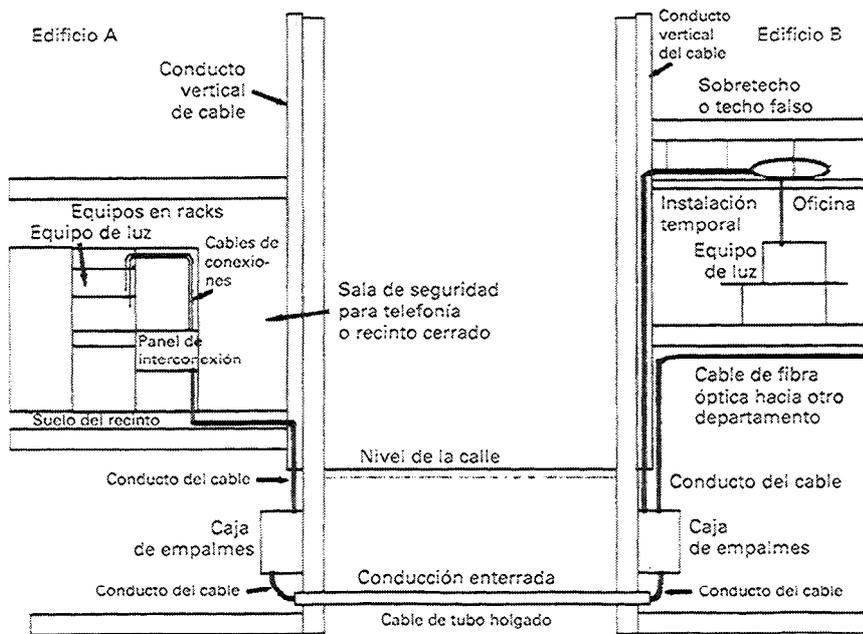


FIGURA 16.1. Instalación en un edificio de oficinas.

Los periféricos de los ordenadores ubicados en áreas de trabajo de oficinas se interconectan con otros equipos de telecomunicaciones y equipos ópticos mediante cableado instalado horizontalmente. Este cableado horizontal puede ser realizado con cables de fibra óptica o con cables de cobre.

Un cable de fibra óptica de interiores y estructura ajustada a prueba de incendios se sujeta a un conducto que irá entre el panel de conexiones y la caja de empalmes situada en el suelo. Debe instalarse un conducto sobredimensionado en previsión de ampliaciones futuras de cables. Todos los cambios de dirección o ángulos y curvas de los conductos portadores de cable deberán ser de radios suaves, con radios que permitan que los cables de fibra óptica no vean afectadas sus características.

El cable de interiores y estructura ajustada se une al cable de exteriores de estructura holgada en la caja de empalmes del suelo. La caja de empalmes ofrece la posibilidad de acomodar varios cables de fibras, que deberán ser conectadas a puntos diferentes del edificio. También puede utilizarse un panel de conexiones en lugar de la caja de empalmes del suelo. Un panel de conexiones sirve como equipamiento de interconexión de las fibras, y resulta de mayor comodidad para futuros cambios.

El cable de fibra óptica de exteriores y estructura holgada se conduce hasta el edificio B mediante canalizaciones empotradas o subterráneas. El tubo de estructura holgada se une a dos cables de estructura ajustada para dar servicio a dos departamentos diferentes. Un tercer cable de exteriores de estructura holgada podría empalmarse fácilmente en este punto a fin de dar servicio a un tercer edificio. Nuevamente, un panel de conexiones podría haberse utilizado en su lugar a fin de proporcionar un equipamiento de interconexión.

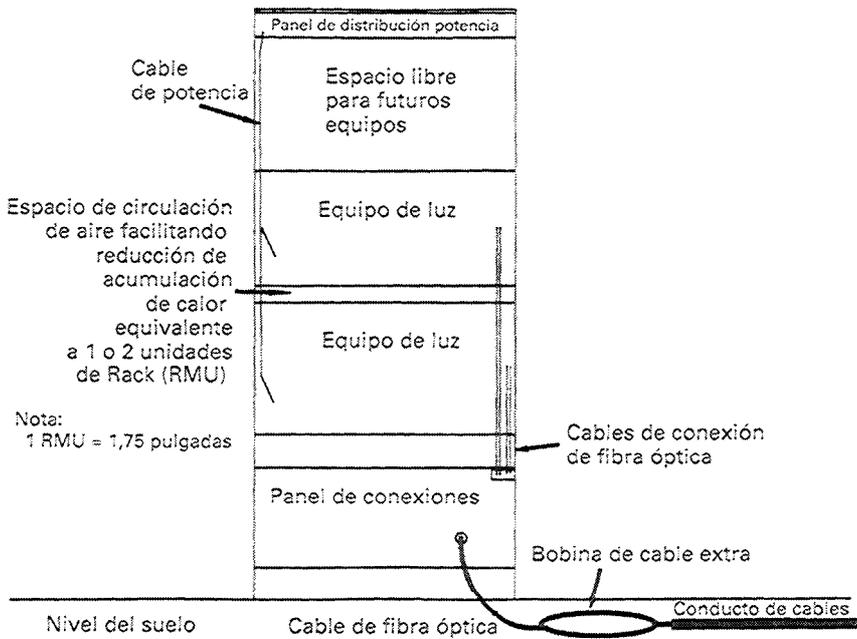


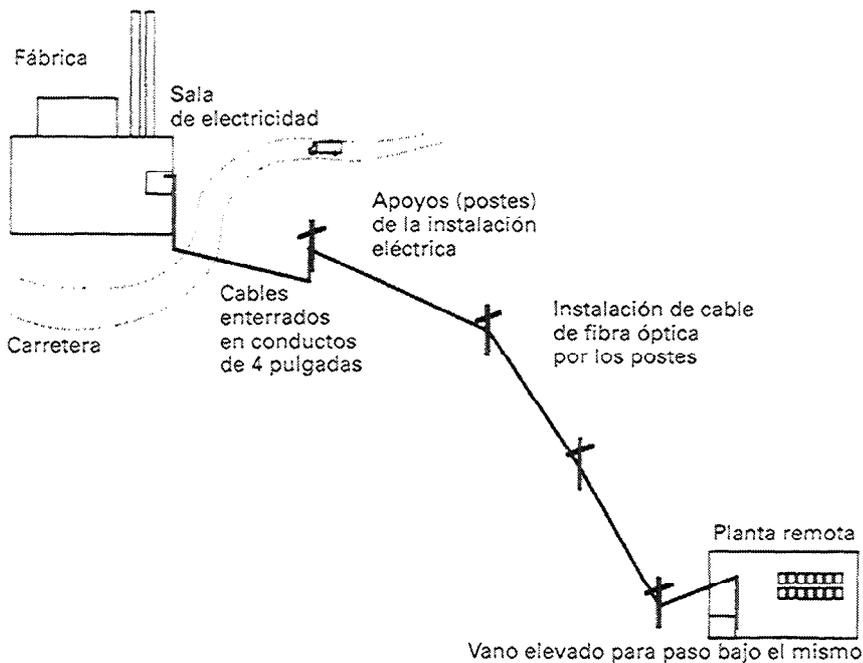
FIGURA 16.2. Montaje de un armario-rack.

El cable de estructura ajustada continúa hasta la planta superior a través de los huecos de subida de cables del propio edificio. Es entonces conducido por el falso techo hasta donde se ha ubicado provisionalmente el equipo. Se deja un trozo de cable sobrante enrollado colocado sobre el falso techo con objeto de poder desplazar el equipo de telecomunicaciones hasta un emplazamiento definitivo en un futuro próximo. La cantidad de cable enrollado que debemos dejar depende de la distancia hasta el punto de ubicación permanente, así como de la cantidad de cable que se requiera para las uniones con el panel de conexiones. El cable total enrollado se protegerá mediante tubos o fundas adecuadas.

El cable desciende del falso techo hasta el equipo óptico mediante un soporte colgante. Debido a la provisionalidad de la instalación, no se usa panel de interconexiones. Los conectores se instalan directamente sobre la protección de las fibras ópticas.

## 16.2. INSTALACIÓN EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

Los ambientes donde hay plantas de industria pesada requieren una consideración especial, y todos los componentes deben estar proyectados para soportar condiciones muy duras. Los cables de fibra óptica que se instalan en estas plantas deben ir protegidos siempre por conductos o recubrimientos armados muy fuertes. Las especificaciones sobre las temperaturas de los cables deben superar cualquier variación previsible que pudiese darse en su entorno. Las instalaciones de cables exteriores requieren una protección adicional por el ambiente que les rodea o en previsión de movimientos

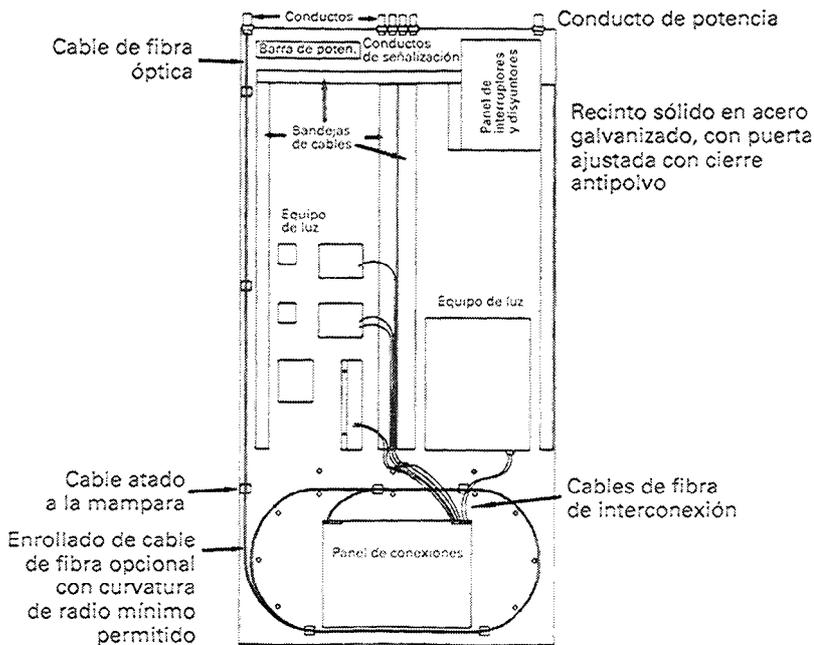


**FIGURA 16.3.** Instalación de una planta remota.

de maquinaria pesada. Actualmente se puede disponer de cables de armadura simple o de armadura doble con funda de polietileno.

Como se muestra en la Figura 16.3, los cables de fibra óptica pueden ser utilizados para proporcionar comunicaciones a una planta remota. Son frecuentes las instalaciones de cable aéreo por la facilidad de disponer de postes para su puesta en ruta. El cable de fibra óptica debe instalarse lo más elevado posible (de acuerdo con las reglamentaciones eléctricas) en los postes soportes para dejar el máximo paso bajo ellos. En aquellos lugares donde se prevé un tráfico rodado denso, los cables pueden ser enterrados en canalizaciones. Debe protegerle el cable con un tubo pesado de acero a lo largo de unos 10 pies (3,048 metros) en la parte de subida al poste, a fin de protegerle de una avería accidental provocada por algún vehículo. Los cables se llevan por conductos y bandejas por las salas eléctricas en ambas ubicaciones. Aquí los cables deben ser cerrados y sellados en sus extremos a fin evitar la acción de la suciedad y el polvo, o acabados en algún otro tipo de cierre terminal propio de cada instalación.

La Figura 16.4 nos muestra un ejemplo de montaje de fibra óptica en un recinto industrial. El habitáculo se ha previsto para albergar la terminación del cable óptico y el equipo óptico, y para almacenar cable excedente de fibra óptica. Las dimensiones típicas pueden ser de 1,8 m de alto por 0,6 o 0,9 m de ancho y 0,45 m de fondo (6 pies de alto por 2 o 3 pies de ancho por 18 pulgadas de fondo). Su construcción es de proyecto industrial y generalmente está fabricado con acero fuerte galvanizado y con una puerta hermética con bisagras robustas. A veces se utiliza un sistema de bloqueo de la puerta para evitar que los intrusos la manipulen.



**FIGURA 16.4.** Montaje de un habitáculo industrial para fibra óptica.

Un habitáculo para un equipo permite albergar los paneles de conexión, el equipamiento terminal y las fuentes de alimentación, los interruptores y protectores eléctricos de potencia, los ensayos con barras del equipo eléctrico de potencia y varios soportes de cableado. Se puede almacenar el exceso de cable de fibra óptica acomodándolo en la parte superior del habitáculo. El radio de curvatura del enrollamiento del cable de fibra óptica no debe rebasar los límites de doblado (el de las instalaciones estáticas), que deberá ser respetado escrupulosamente. Las entradas de los conductos de cables, tanto por arriba como por debajo del habitáculo, deberán ser selladas adecuadamente.

Los latiguillos de fibra óptica pueden ser llevados hasta los equipos ópticos por medio de bandejas soporte adecuadas. El equipo óptico va fijado a una pared a través del soporte trasero del mismo. Puede necesitarse un espacio adicional para la ubicación de equipos ópticos posteriores y que debe preverse. Los conductores de potencia y de señalización se conducen por bandejas separadas hasta llegar a los equipos de destino en otros armarios. Se puede eliminar el uso de bandejas centrales grandes ante la posibilidad de instalar más tarde equipamientos de gran tamaño.

### 16.3. SISTEMA DE MÓDEM ÓPTICO

Se puede proyectar una red por módem para una comunicación punto a punto. Cada señal a transmitir se conecta a su exclusivo equipo de módem. Los módems están disponibles como elementos sueltos, exteriores al equipo, o como tarjetas interiores

que pueden conectarse en ranuras (*slots*) disponibles al efecto dentro del propio equipo (por ejemplo, en las ranuras de los ordenadores).

La Figura 16.5 muestra un ejemplo de enlace mediante módem. Dos ordenadores, un teléfono y un enlace de vídeo utilizan módem por fibra óptica, separados pero conectados a un cable único de fibra óptica por medio de latiguillos. Cada módem es independiente, es decir, un fallo en uno de ellos no afectaría al funcionamiento de los demás módems. La instalación de un módem es normalmente rápida y de conexión directa. Lo único que necesita es encenderlo y ya está en pleno funcionamiento. Las averías del equipo de comunicaciones son también muy simples. Uno o ambos módems pueden ser rápidamente sustituidos ante la duda de un mal funcionamiento. El sistema puede ser expandido fácilmente añadiendo nuevos módems al cable de fibra óptica, asumiendo que se dispone de las fibras ópticas adicionales. Como muestra la Figura 16.5, puede ensamblarse esta configuración para un enlace de tipo punto a punto. No obstante, si se precisan transmitir muchas señales y a larga distancia, se debería estudiar una solución más sofisticada (posiblemente incluyendo un multiplexor) que redujera la demanda de más fibra óptica y consiguientemente el coste del propio cable de fibra óptica.

### 16.4. SISTEMA MULTIPLEXADO

El sistema multiplexado hace posible el incremento de la eficacia de las fibras ópticas disponibles y de su ancho de banda.

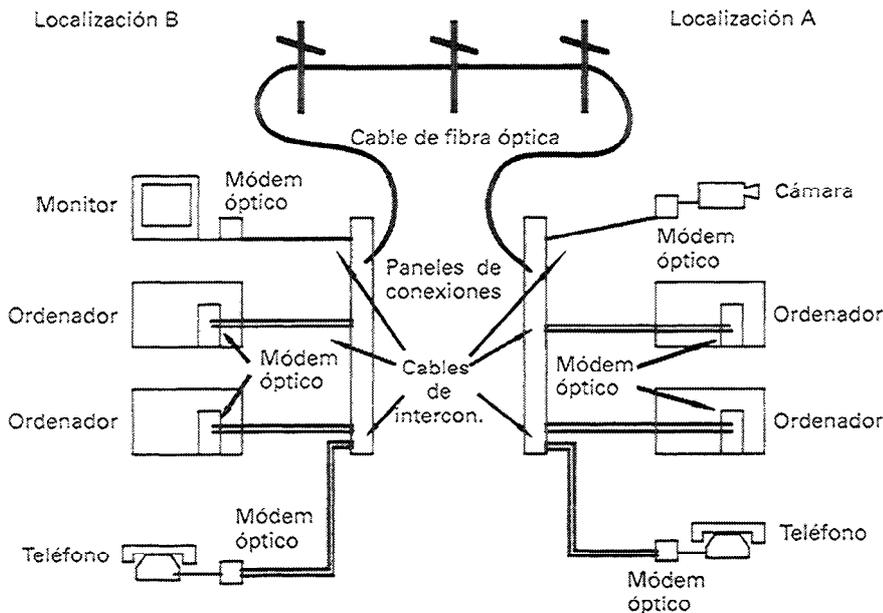


FIGURA 16.5. Ejemplo de sistema óptico mediante módem.

Un gran número de señales iguales o diferentes pueden ser colocadas sobre dos fibras ópticas. Uno de estos sistemas, que utiliza el protocolo Sonet, es capaz de multiplexar 32.256 conversaciones telefónicas sobre dos fibras ópticas. Como se muestra en la Figura 16.6, el multiplexor se conecta al cable de fibra óptica con dos latiguillos y a través del panel de conexiones a ambos extremos del enlace. Otros equipos como ordenadores, teléfonos y otras señales pueden ser conectadas a un multiplexor mediante los oportunos interfaces eléctricos.

Este sistema, aunque es más complejo de instalar y mantener, posee sustanciales ventajas para ciertas aplicaciones. Ello permite que un gran número de equipos diferentes puedan comunicarse a larga distancia utilizando solamente dos fibras ópticas, lo que indudablemente ahorrará costes muy importantes en cables. Los multiplexores pueden proporcionar funciones de supervisión y control sobre redes a plena potencia. Los puntos nodales a lo largo de un país pueden ser monitorizados y controlados desde un centro de control de la red de comunicaciones. Los circuitos de multiplexado pueden ser conectados, desconectados, ensayados, monitorizados o invertidos desde el centro de control de la red, sin que sea necesario enviar al personal técnico hasta el lugar donde está el multiplexor físicamente.

### 16.5. ETHERNET

Las fibras ópticas pueden utilizarse para extender las distancias RAL del servicio Ethernet más lejos que los cables convencionales, como el 10Base5, 10Base2, 10BaseT. El cableado coaxial 10Base5 está limitado a 500 metros (1.640 pies). Con el

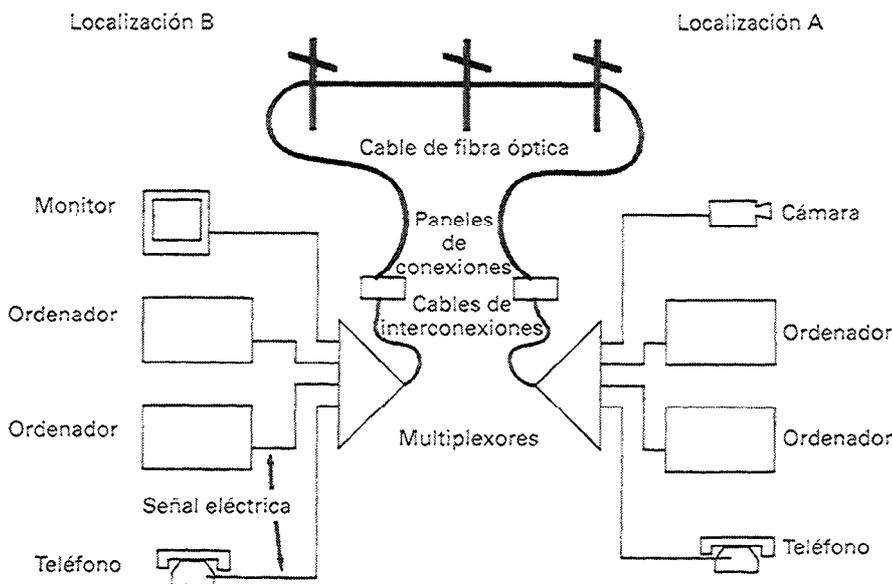
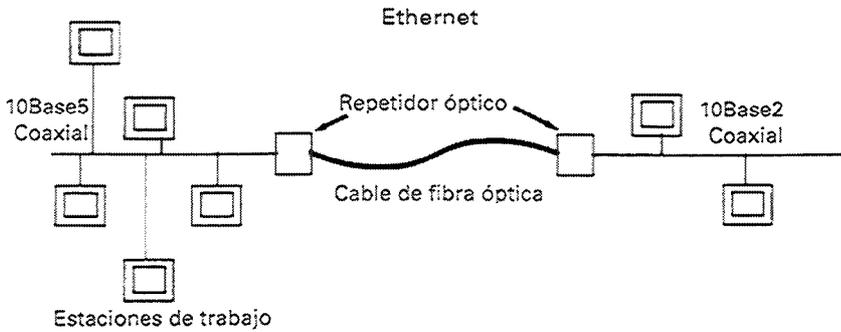


FIGURA 16.6. Sistema multiplexor.



**FIGURA 16.7.** Sistemas Ethernet.

añadido de un repetidor de fibra óptica, la distancia puede ser ampliada hasta 2 kilómetros (dependiendo de los retardos de la red).

La fibra del tipo 62.5/125  $\mu\text{m}$  y los conectores ST son de uso común en estas instalaciones.

La utilización de puentes de fibras ópticas pueden extender la distancia por encima de los 30 kilómetros con fibras monomodo (ver Fig. 16.7).

## 16.6. FDDI

El *interfaz de datos distribuidos por fibra* (FDDI) \* es un estándar utilizado en áreas de tecnología de redes que trabaja con un régimen elevado de datos (100 Mbps), y que se apoya en las fibras ópticas como medio de transporte. El sistema está configurado en doble anillo (igual que los sistemas Anillo Token —*Token Ring*—), utilizando un par de fibras ópticas para conectar cada aparato al anillo. A menudo se utiliza como columna vertebral de alta velocidad del ordenador principal, así como para encaminar redes de baja velocidad de datos RAL, o para conectar unidades centrales de los ordenadores. Como vía rápida de datos, está provisto del suficiente ancho de banda para transportar grandes cantidades de datos, y es lo suficientemente robusto como para admitir una tolerancia elevada de fallos y redundancias (ver Fig. 16.8).

La arquitectura de este anillo doble proporciona un alto grado de fiabilidad y seguridad. Bajo condiciones normales de funcionamiento, el primer anillo se utiliza para el transporte de datos, mientras que el segundo anillo permanece en reposo. Cuando tiene lugar un fallo, un corte en el cable de fibra óptica o si falla un dispositivo, las estaciones de ambos extremos lo detectan y automáticamente conmutan su estado pasando del circuito de la fibra primaria al circuito de la fibra óptica secundaria. Esta acción puentea la posición del defecto y recupera la situación de trabajo en anillo (ver Fig. 16.9).

Cada estación del anillo puede estar tan alejada como 2 km cuando estamos utilizando fibra óptica especial tipo FDDI. El sistema puede soportar hasta 500 estacio-

\* *Nota del traductor:* FDDI es el acrónimo de Fiber Distributed Data Interface.

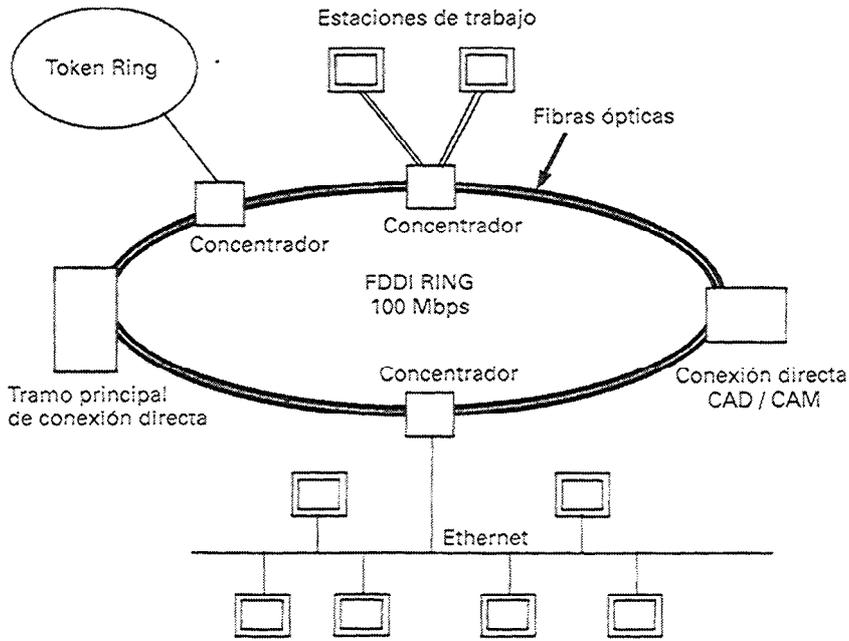


FIGURA 16.8. Red principal de FDDI.

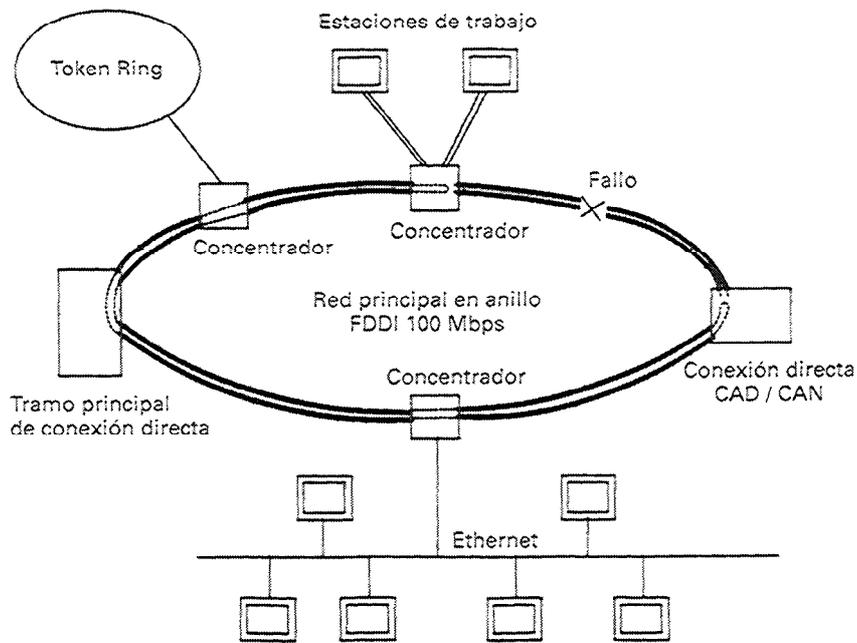


FIGURA 16.9. Fallo en el anillo.

nes en el anillo. La máxima longitud del anillo es de 100 km (de acuerdo a los estándar FDDI). Los nuevos propietarios de interfaces que utilizan fibras monomodo pueden aumentar estas longitudes; no obstante, debe consultarse a los fabricantes de equipos individuales. En el estándar FDDI, las fibras que utiliza la instalación son multimodo de 62,5/125  $\mu\text{m}$  tipo FDDI trabajando a 1.310 nm.

Los conectores estándar para fibra óptica son del tipo dual para doble fibra, del tipo denominado FDDI. Algunos equipos también aceptan otros conectores como los tipos ST, FC o SC.

La comunicación se controla por un protocolo de duración de paso de los mensajes. Esto elimina cualquier retraso que podría ser causado por colisión de paquetes de datos, como ocurre en Ethernet.

## 16.7. SONET

La *red óptica síncrona* (Sonet) es un protocolo estándar utilizado para comunicaciones por fibra óptica, interfaces y dirección. Está definido para ocho velocidades de transmisión de datos, como puede verse en la tabla siguiente:

Nivel	Régimen de datos (Mbps)	Número de canales de voz (*)
OC-1	51.84	672
OC-3	155.52	2.016
OC-9	466.56	
OC-12	622.08	8.064
OC-18	933.12	
OC-24	1244.16	16.128
OC-36	1866.24	
OC-48	2488.32	32.256

(\*) Utilizando canales estándar de 64 kbps, no comprimidos. Esta cantidad puede elevarse utilizando técnicas de compresión de voz.

Sonet proporciona un estándar internacional de familias de canales de transmisión a régimen óptico. Esto proporciona una operatividad a nivel óptico entre vendedores de equipos ópticos. También permite el multiplexado síncrono y permite una conexión-desconexión eficaz de canales de operación ubicados en lugares cualesquiera.

Debido al elevado régimen de datos que maneja, Sonet utiliza generalmente como medio de comunicación fibras monomodo.

# Capítulo 17

## PROCEDIMIENTO GENERAL DE INSTALACIÓN

---

El procedimiento general siguiente puede ser utilizado en la mayoría de las instalaciones de fibra óptica.

1. Complétese el proyecto de ingeniería e identifíquense las características, incluyendo las siguientes:
  - Identificar el recorrido exacto del cable de fibra óptica y asegurarse de que cumple con todas las especificaciones de la instalación. Conseguir la autorización para la instalación del cable de fibra óptica a lo largo de toda la ruta, cuando ello sea necesario.
  - Determinar el tipo de fibra —multimodo, de índice escalón, de índice gradual o monomodo— y diámetro.
  - Determinar el tipo de cable —tubo de estructura holgada, ajustada y número de fibras.
  - Asegurarse de que el tipo de cable y los equipos son los correctos para el ambiente al que van destinados. Seleccionar cable para exteriores o interiores ignífugo y con la cubierta adecuada.
  - Determinar el tipo de conector para la fibra óptica y el procedimiento de conexión del mismo (latiguillo o conexión directa a la fibra).
  - Determinar sobre el terreno los requerimientos de localización e instalación para los cables de interconexión, latiguillos, paneles de conexión, conectores y cajas de empalmes.

Ver el Capítulo 5 para detalles adicionales.

2. Identificar todo lo concerniente a seguridad.

3. Asegurarse de que se dispone del adecuado equipamiento e instrumentación de ensayo. Estar seguros de que todo el personal está debidamente entrenado en el manejo de cables de fibras ópticas y equipos. Determinar el procedimiento de instalación correcto.
4. Adquirir el o los cables de fibra óptica que se necesiten así como todo el equipamiento, de acuerdo al proyecto, y obtener el correspondiente plazo de entrega.
5. Una vez que se han recibido el o los cables, revisar el carrete de cable de fibra óptica antes de proceder a su instalación (ver Sec. 14.1).
6. Preparar la ruta del cable de fibra óptica e instalar todos las tuberías, conductos y subconductos, cables fiadores y cuanto sea necesario.
7. Instalar el cable de fibra óptica de acuerdo al proyecto de ingeniería (ver Caps. 3 y 9).
8. Empalmar todos los largos de cable, según se necesiten, y ensayar toda la fibra del enlace completo (ver Sec. 14.1).
9. Terminar cada fibra del cable óptico con su panel de conexiones o caja de empalmes apropiado y completar la instalación y los ensayos.
10. Someter a ensayo toda la instalación de fibra óptica.
11. Instalar todos los equipos terminales ópticos, módems, multiplexores, etc.
12. Conectar los equipos de prueba en los extremos de la instalación y ensayarla (BERT o equivalente).
13. Registrar todos los datos y detalles que se necesiten (ver Cap. 19).
14. Preparar los planes de mantenimiento y reparación (ver Caps. 18 y 19).

# Capítulo 18

## MANTENIMIENTO

---

Debería efectuarse un mantenimiento regular de un sistema de fibra óptica a fin de garantizar su funcionamiento. La mayor parte del trabajo de mantenimiento se puede llevar a cabo sin afectar a la operatividad del sistema. Otras pruebas, como la medida del nivel de potencia óptica, requieren la interrupción del servicio.

### ***18.1. MANTENIMIENTO QUE NO AFECTA AL SERVICIO***

---

El sistema de fibra óptica debería ser inspeccionado visualmente al menos una vez al año. Los cables de interconexión y las curvaturas de los cables deberían ser comprobados para asegurarnos de que no están comprometidos los valores de los radios de curvatura mínimos.

Los cables de conexiones deberían ser almacenados ordenadamente o asegurados en bandejas para cables. No encintarlos o doblarlos en exceso. Nunca deberían formar nudos o cocas.

Los cables de fibra óptica que se encuentran doblados deberían ensayarse para asegurarnos de que no lo están en exceso. Los recubrimientos de los cables de fibra óptica deberían ser inspeccionados sobre posibles averías, como cortes, rasgaduras o deformaciones.

El equipamiento óptico y la localización de paneles de interconexión deberían ser inspeccionados a efectos de limpieza. Las puertas de los armarios deben mantenerse cerradas todo el tiempo. No debe permitirse que se acumule polvo y suciedad sobre los equipos. En ambientes polvorientos, deberían utilizarse armarios herméticos de cierre especial antipolvo.

La atenuación óptica de las fibras que no están en servicio (fibras de repuesto) puede ser medida utilizando un generador de luz y un medidor de potencia y puede ser

comparada con datos de la instalación registrados anteriormente para determinar el deterioro de la fibra óptica. Bajo condiciones normales, la atenuación de una fibra se mantiene constante durante muchos años.

El nivel de polarización de los equipos ópticos láser puede ser normalmente ensayado sin que afecte a la operatividad del equipamiento (consúltense las especificaciones del fabricante). También deben consultarse las especificaciones del fabricante para determinar el nivel de trabajo adecuado del equipamiento.

Los tendidos aéreos de cable de fibra óptica pueden ser observados visualmente, sobre cualquier posible avería del cable fiador o de la estructura de los soportes. Pueden verse igualmente la curvatura o comba que forman tanto el cable de fibra óptica como el cable fiador. Los cables aéreos a ciertas alturas son propensos a averías, ya que están sometidos a efectos del viento y del hielo, así como a averías causadas por las aves, roedores, seres humanos o disparos de armas.

En las arquetas de los cables subterráneos se deben inspeccionar la integridad de los cables y soportes así como los efectos de la corrosión. Las averías de los cables pueden provenir de la propia instalación; de averías causadas por roedores, aguas, hielo y fuego; y por la corrosión de los soportes.

Deben ser revisados la totalidad de los sellados de las tuberías de cables, conductos, y subconductos. No debe permitirse que entre agua en los conductos, subconductos o tuberías de cables de fibra óptica u otros sistemas de canalización.

## **18.2. MANTENIMIENTO QUE AFECTA AL SERVICIO**

---

El mantenimiento que afecta al servicio debe ser realizado con la frecuencia que indica el fabricante en las especificaciones. Normalmente los equipos son estables durante mucho tiempo.

Las fibras operacionales deben ser desconectadas y medidas las atenuaciones de las fibras mediante un OTDR y un generador y medidor de potencia ópticos. Estos resultados de las medidas deben ser comparados con los datos registrados anteriormente en nuestra instalación y determinar la posibilidad de un incremento de la atenuación. La potencia de salida de los equipos ópticos puede ser verificada y comparada con los datos ya registrados y determinarse el número de horas de vida de los láseres o los LEDs correspondientes.

La potencia reflejada en las fibras ópticas puede ser medida para asegurar un funcionamiento estable del láser (solamente en fibras monomodo). El umbral de recepción puede también ser ensayado y comprobado, así como el BER, por comparación con los valores registrados anteriormente.

# Capítulo 19

## REPARACIÓN

---

La reparación de los cables rotos debe planearse cuidadosamente.

*El cable no debe repararse en un ambiente húmedo. El cable a reparar debe ser conectado a tierra siempre.*

La posición exacta de la rotura de la fibra debe determinarse mediante inspección visual y medidas con un OTDR. Normalmente, no hay suficiente holgura en un cable instalado para realizar un empalme sin añadir un trozo de cable de conexión. Un cable de conexión introducirá en el proyecto del enlace dos pérdidas por empalme, además de la atenuación del propio cable de conexión. El proyecto del sistema del enlace debe ser revisado para asegurarse de que es posible el empalme con el cable de conexión. Si no lo es, puede ser necesaria la sustitución del cable entero (ver Fig. 19.1).

Una vez que se ha identificado el tramo de cable dañado, debe cortarse y eliminarse. Si se requiere una sustitución inmediata del cable de fibra óptica, se puede poner sobre el suelo, y empalmar temporalmente, un trozo corto de cable robusto (las uniones mecánicas pueden llevarse a cabo si la previsión del enlace es válida y las temperaturas no descienden por debajo del punto de congelación). Un cable apropiado de estilo robusto puede soportar sobrecargas, tales como pisadas de vehículos, enredos, congelamiento por hielo y otros.

### Procedimiento

1. Determinar la posición exacta de la rotura de la fibra y la longitud adecuada del cable de conexión para hacer un empalme o unión a nivel del suelo. Para reparaciones en el exterior, la unión es preferible efectuarla dentro de un lugar protegido como un toldo o dentro de una furgoneta.

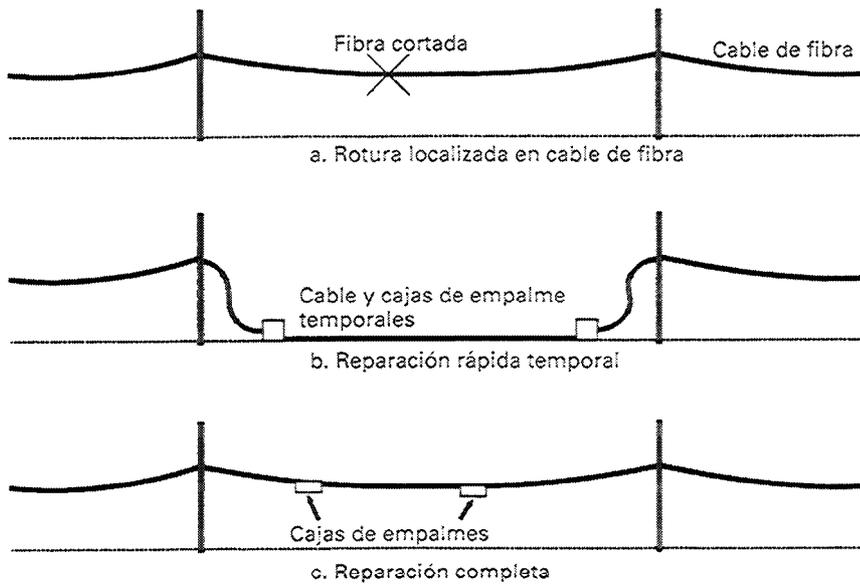


FIGURA 19.1. Reparación de un cable aéreo de fibra óptica.

- Determinar los emplazamientos de las cajas de empalmes. Para reparaciones al aire libre, el empalme debe ser realizado dentro de una caja para intemperie resistente al agua con sellado antihumedad. Para las reparaciones sobre postes o soportes externos, las cajas de empalmes deben ser aptas para fijarse sobre los mismos postes o sobre el cable fiador.

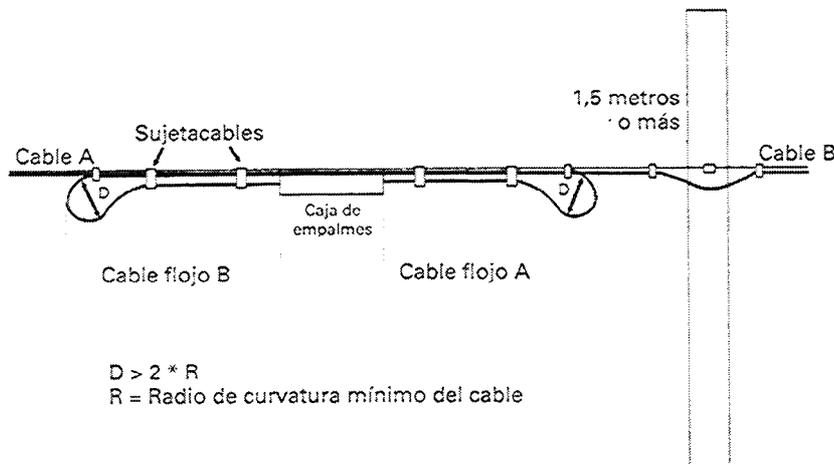


FIGURA 19.2. Caja de empalmes montada sobre el cable fiador.

3. Asegurarse de que los utillajes de reparación están disponibles en el lugar, incluyendo equipo de ensayo, equipo de limpieza, equipo de pelado de cable, equipos de conexión mecánica o de fusión, y demás.
4. Asegurarse de que ha finalizado toda la comunicación por el cable.
5. Desconectar y bloquear todas las fuentes de luz del cable de fibra óptica y etiquetarlas como «Fuera de Servicio, NO USAR».
6. Una vez preparada la caja de empalmes y localizado el punto de empalme del enlace, cortar el trozo dañado de cable. Usar procedimientos de unión estándar y empalmar el nuevo cable de conexión.
7. Comprobar todas las fibras y todas las uniones.
8. Después de completar la unión del cable y su comprobación, las cajas de empalmes se instalan en sus posiciones permanentes. Para la reparación de líneas aéreas sobre postes, las cajas de empalmes pueden ser montadas en el cable fiador o sobre los postes (ver Figs. 19.2 y 19.3). El cable sobrante debe

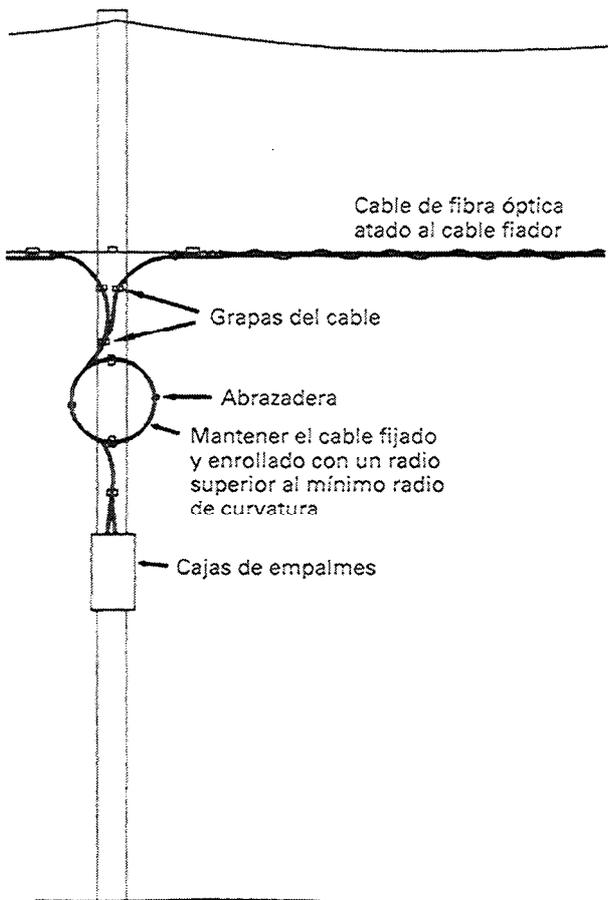


FIGURA 19.3. Caja de empalmes montada sobre un poste.

ser almacenado enrollado sobre el cable fiador o en una bobina sobre el poste, asegurándose de no rebasar el radio de curvatura mínimo de plegado del cable. Asegurarse de que no se torsiona el cable.

9. Las uniones, y todas las fibras, se comprueban con un OTDR y un medidor de potencia.

La Figura 19.2 muestra una instalación aérea típica sobre postes con las cajas estancas de empalmes colgadas del cable fiador. El exceso de cable de fibra óptica se deja colgado y enrollado sobre el cable fiador. No se deben alcanzar valores comprometidos para los radios de curvatura mínimos. Las cajas de empalmes son del tipo intemperie, antihumedad, y disponen de enganches especiales para ser fijadas sobre el cable fiador.

Si no se desea utilizar el montaje sobre el cable fiador, las cajas de empalmes pueden ser instaladas sobre los postes. La Figura 19.3 muestra una configuración de montaje típico sobre postes. El trozo excedente de cable de fibra óptica está emplazado justamente sobre la caja de empalmes. Asegurarse de que el radio de curvatura mínimo del cable, para condiciones sin carga, no alcanza un valor comprometido. Existen disponibles recintos contenedores especiales para ser instalados en postes y que pueden encerrar el rollo de cable excedente y la caja de empalmes. Estos contenedores deben ubicarse lo más elevado posible para evitar que personal no autorizado pueda abrirlas.

# Capítulo 20

## REGISTROS

---

Se deberán realizar anotaciones y registros muy precisos de la instalación y de su mantenimiento para futuras reparaciones o modificaciones del sistema.

### Registros de las instalaciones

1. Incluyendo documentación de los ensayos con OTDR de la fibra óptica instalada:
  - atenuación en su longitud total
  - trazas de curvas individuales de cada una de las fibras en su totalidad
  - registro en papel o en diskette de todas las trazas de curvas
  - pérdidas de cada conector y empalmes individuales
  - pérdidas por otras anomalías
  - longitudes de onda comprobadas y dirección de las medidas
  - nombre del fabricante, modelo y número de serie del equipo de medición
  
2. Incluyendo la documentación de la medida de potencia instalada:
  - pérdida del enlace total por cada fibra
  - potencia de salida óptica del generador utilizando patrones de transmisión estándar
  - niveles del umbral de recepción óptica
  - margen de nivel óptico
  - medidas de pérdidas de retorno (solamente para generadores láser)
  - longitudes de onda de los ensayos y direcciones de las medidas
  - nombre del fabricante, modelo y número de serie del equipo de medición

## 3. Planos que incluye la instalación real:

- diagramas que incluyen las rutas del cable de fibra óptica y detalles
- localización de los empalmes
- diagrama de conexiones de la fibra óptica
- destinos de cada fibra óptica en los paneles de conexión y terminales
- tipo de conector
- asignaciones de las fibras en los puntos de empalmes
- longitud del cable de fibra óptica instalado
- fecha de la instalación
- equipo de técnicos realizadores de la instalación

## 4. Cable de fibra óptica incluyendo detalles:

- fabricante del cable de fibra óptica
- tipo de cable, diámetro y peso
- clase de revestimiento, grado de ignifugibilidad, para interiores, exteriores
- fabricante de la fibra óptica
- tipo de fibra óptica
- diámetros del núcleo de la fibra óptica y de su revestimiento
- atenuación por kilómetro de la fibra óptica
- ancho de banda de la fibra y detalles de su dispersión

## 5. Incluyendo las especificaciones del equipamiento de medidas:

- nombre del fabricante, modelo y número de serie
- detalles de su manejo, mantenimiento e instrucciones para su reparación
- especificaciones ópticas, potencia de salida, sensibilidad del receptor, tipo de generador, longitud de onda de trabajo y otros
- otros detalles del equipamiento

**Registros de mantenimiento**

1. Fechas, equipo humano de técnicos y equipamiento de verificaciones para inspeccionar y comprobar el sistema de fibra óptica.
2. Equipo completo de medida de potencia y OTDR como se muestran en los registros de la instalación. Las lecturas deben ser comparadas con los valores registrados anteriormente de la instalación. Las comprobaciones afectan al servicio.
3. Inspección del tendido o ruta del cable y anotaciones sobre las condiciones físicas del cable y las estructuras de los soportes.
4. Comprobado de las asignaciones de cada panel de conexiones y empalmes.
5. Notas detallando cualquier problema adicional encontrado.

# Capítulo 21

## LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE AVERÍAS

---

Se debe usar un método de aproximación paso a paso para aislar el problema. Si el sistema está operativo, todos los usuarios deben ser informados sobre posibles perturbaciones o desconexiones momentáneas. Debe disponerse de un listado con anotaciones de los síntomas del problema y las etapas a seguir para su identificación y posterior corrección.

### **Servicio no interrumpido**

1. Realizar una inspección visual para ver todos los paneles y cables de interconexión a fin de asegurarse de que todo el cableado está correctamente instalado y conectado de acuerdo a los requerimientos.
2. Comprobar para asegurarse que todo el equipamiento está encendido, trabajando con su potencia completa y su adecuado modo de operación. Comprobar visualmente que los indicadores tanto del hardware como del software indican su configuración adecuada.
3. Asegurarse de que los cables de interconexión no han sido curvados excesivamente por debajo de los valores de los radios mínimos permitidos.
4. Inspeccionar visualmente sobre la posibilidad de una avería en la ruta total del cable, dobleces forzadas o condiciones anómalas.
5. Asegurarse de que todas las conexiones están fijadas. Si el problema es intermitente, mover suavemente los cables y conectores y observar si el problema continúa (es posible que ello dé lugar a interrupciones del servicio). Algunos conectores, como los del tipo bicónico, son susceptibles a las vibraciones.

**Servicio interrumpido.** Antes de desconectar las fibras ópticas, asegurarse de que todos los generadores ópticos han sido apagados.

1. Desconectar los cables de interconexión y limpiar todos los conectores íntegramente.
2. Comprobar cada uno de los cables de interconexión. Reemplazar aquel que presente alguna duda.
3. Medir la atenuación de todas las fibras ópticas con un generador óptico estable y un medidor de potencia, y comparar los datos obtenidos con los registrados.
4. Comprobar todas las fibras con un OTDR y comparar los resultados con los que disponemos registrados.
5. Conectar el medidor de potencia directamente al generador óptico y medir la potencia óptica de salida. Utilizar un patrón de transmisión de datos estándar (tal como se muestra en el registro de datos de instalación), cualquiera de ellos. Comparar con los registros.
6. Conectar el medidor de potencia en la posición del receptor, frente a la fibra óptica, y medir la potencia óptica del generador óptico distante. El nivel de la potencia óptica deberá ser equivalente al del generador menos la atenuación del enlace.
7. Si se utilizan generadores láser en el enlace, comprobar las pérdidas de retorno de todas las fibras ópticas.
8. Para errores intermitentes o flujo pobre de datos, conectar el sistema óptico a un equipo BER y repasar todo el enlace completo. El tiempo de los errores debe ser registrado a fin de proporcionarnos los indicios de problemas cíclicos. Los datos del BERT deben compararse con los registros facilitados por el fabricante. Un elevado valor de BER puede indicar altas pérdidas ópticas, equipo óptico defectuoso o datos de conexión eléctrica pobre.

Si se encuentra una fibra rota o una anomalía, localizar su ubicación usando un OTDR. Seguir las indicaciones de los procedimientos de ensayo con el OTDR descritos en el Capítulo 13.

Si no se dispone de equipamiento de pruebas de fibra óptica, puede ser comprobada rápidamente la continuidad de la fibra usando un flash de luz de la manera siguiente:

1. Apagar y desconectar todos los equipos ópticos.
2. Usando un flash de luz, hacer brillar la luz frente a la fibra que deseamos comprobar.
3. La luz deberá hacerse visible en el otro extremo de la fibra que ensayamos. La claridad ambiental de la sala deberá disminuirse con objeto de poder ver la luz de la fibra.
4. Si la luz procedente del flash de luz no es visible, la fibra puede estar cortada. Será necesaria una prueba posterior de la fibra óptica mediante un OTDR y un medidor de potencia.

Este ensayo con un flash de luz no nos proporciona ninguna indicación sobre la atenuación de la fibra.

# Capítulo 22

## FUNDAMENTOS DE DISEÑO

---

El diseño de un sistema de fibra óptica puede llegar a ser un proceso complicado. El proyectista debe considerar muchos factores, incluyendo la velocidad de transmisión, la atenuación del enlace, el medio ambiente, los tipos de cables, tipos de fibras, equipamiento disponible, tipos de interfaz eléctricos, conectores ópticos, empalmes, protocolos y otros. El proceso completo es bastante engorroso y está fuera del alcance de este libro.

No obstante, el proceso puede simplificarse cuando se siguen las instrucciones del fabricante del equipamiento en el momento de su instalación. Estas instrucciones normalmente suministran la suficiente información como para seleccionar la fibra óptica adecuada para una instalación sencilla. Otras consideraciones del proyecto, como el tipo de cable, paneles, puentes, medio ambiente, ruta y cosas por el estilo, se dejan para que los determine el proyectista.

Este capítulo nos mostrará cómo proceder con el proyecto de un sistema de fibra simple siguiendo las recomendaciones del fabricante. También se indican para la selección del tipo de fibra óptica muchas otras técnicas de cálculo, que igualmente se tratarán.

### **22.1. FIBRAS MONOMODO O MULTIMODO**

---

La primera decisión a tomar es si debe instalarse un sistema de fibra monomodo o multimodo. Ambos sistemas tienen sus méritos.

#### **Ventajas de un sistema de fibra óptica monomodo**

1. Las fibras monomodo tienen la capacidad de transmitir el mayor ancho de banda posible y son ideales para enlaces de transmisión a larga distancia.

2. Las fibras monomodo poseen una atenuación más baja que las fibras multimodo.
3. Los cables de fibras monomodo son más económicos que los cables multimodo.
4. Disponemos de fibras monomodo para longitudes de onda óptica de 1310 y 1.550 nm.

### **Ventajas de un sistema de fibra óptica multimodo**

1. La fibra multimodo se adapta mejor a distancias por debajo de los 2 km.
2. El ancho de banda de un sistema de fibras multimodo es más dependiente de su longitud. Para longitudes superiores a los 2 km utilizando la fibra estándar 62,5/125 FDDI, es posible alcanzar un régimen de datos de hasta 100 Mbps.
3. El equipamiento óptico para fibra multimodo es generalmente más económico que el de monomodo. Se utilizan a menudo diodos LED como generadores de luz.
4. El cable de fibra óptica multimodo es normalmente más caro que el cable de fibra óptica monomodo, pero para distancias cortas el ahorro en el equipo óptico puede equilibrar el coste.
5. La fibra óptica multimodo 62,5/125 es la estándar para las comunicaciones de las RAL, así como Ethernet, Token Ring y FDDI.
6. La fibra multimodo es adecuada para longitudes de onda de 850 y 1.310 nm.

Se puede extraer la conclusión de que los sistemas de fibra monomodo generalmente son utilizados para distancias largas (por encima de 2 km). Las fibras multimodo están destinadas a aplicaciones de distancias cortas, como especifican los fabricantes de equipos ópticos.

## **22.2. SISTEMAS BÁSICOS DE FIBRA ÓPTICA**

---

Para muchas instalaciones de fibra óptica los fabricantes de equipos ópticos proporcionan información suficiente para que el usuario que lo desee implemente un enlace básico del tipo punto a punto utilizando su equipamiento. Esta sección presentará diversos ejemplos de estos tipos de instalaciones.

Dos factores importantes a considerar en el diseño de enlaces por fibra óptica son *las pérdidas totales del enlace y el máximo ancho de banda del propio enlace*. El máximo ancho de banda del enlace es generalmente el máximo régimen de datos o ancho de banda analógico que un sistema de comunicaciones ópticas puede soportar con un mínimo de distorsión de la señal.

Está limitado por las propiedades de equipo óptico y por los parámetros de las fibras ópticas. El ancho de banda de las fibras ópticas decrece al aumentar la longitud de la fibra óptica. Por lo tanto, es importante conocer la longitud de cable que llevará la instalación y trabajar con el equipamiento óptico apropiado. La sección siguiente se extiende en cálculos más detallados del ancho de banda. Estos cálculos pueden evitarse para algunos sistemas básicos porque el fabricante ya ha ensayado su propio equipamiento, usando fibras ópticas disponibles comercialmente para un proyecto predeterminado de sistema básico.

El fabricante puede recomendar el uso de fibras ópticas ensayadas u otros tipos que pueden ser utilizados con estos equipos en instalaciones de sistemas básicos.

Las pérdidas totales de un enlace son las pérdidas totales de potencia de luz en el enlace de fibra óptica debida a todos los factores, incluyendo conectores, empalmes, atenuación en la fibra, curvaturas en los cables y factores por el estilo. La pérdida de potencia óptica debida a los conectores instalados en los equipos ópticos debe ser ignorada, puesto que ya han sido tenidas en cuenta e incluidas en los cálculos por el fabricante. Las pérdidas totales del enlace deben estar de acuerdo con las especificaciones del fabricante del equipo óptico con el fin de asegurarse un funcionamiento adecuado del enlace. Esto se determina mediante una cuidadosa planificación del estudio del enlace óptico, como se discute en la Sección 12.6, para un sistema completo de fibra óptica. Todos los factores que contribuyen o pueden contribuir a la creación de pérdidas de potencia óptica están incluidos en el estudio del enlace.

Los fabricantes de equipos ópticos recomendarán habitualmente un tipo de fibra óptica o varias fibras ópticas diferentes que pueden ser utilizadas satisfactoriamente con su equipamiento. Estos tipos de fibras ópticas ya han sido ensayados con sus equipamientos en configuraciones estándar tipo punto a punto, para obtener datos como distancias y pérdidas máximas. El equipamiento funcionará satisfactoriamente si los tipos de fibra recomendados cumplen las restricciones de longitud y atenuación de fibra. Estas restricciones pueden venir dadas por el fabricante del equipamiento en forma de tablas, como se muestra en el siguiente ejemplo:

Tamaño fibra ( $\mu\text{m}$ )	Atenuación fibra (dB/km)	AN fibra	Ancho banda fibra (MHz $\times$ km)	Máxima atenuación (dB a 850 nm)	Máxima longitud (km)
50/125	3,0	0,20	50	2,0	0,6
50/125	2,7	0,20	50	2,0	0,7
62,5/125	3,5	0,29	50	5,0	1,4
62,5/125	3,0	0,29	50	5,0	1,6
100/140	5,0	0,29	50	9,5	1,5
100/140	4,0	0,29	50	9,5	1,8

Las primeras tres columnas de esta tabla listan especificaciones de fibra óptica para varias fibras ópticas disponibles comercialmente. Uno de estos tipos de fibra debe coincidir con la especificación de la fibra instalada.

El valor de la columna «ancho de banda de la fibra» es el ancho de banda normalizado de la fibra (a 1 km) y es la menor anchura de banda de dicha fibra óptica que el fabricante de equipos ópticos recomienda para la instalación. Las fibras ópticas con anchos de banda mayores son también aceptables para la instalación (como puede ser 100 MHz  $\times$  km en este ejemplo).

La máxima atenuación y la máxima longitud no deben ser excedidas para el tipo de fibra seleccionado. La máxima atenuación debe ser siempre mayor o igual que las pérdidas totales del enlace.

La máxima longitud es la longitud total de la fibra óptica entre dos equipos ópticos terminales. La longitud representa el límite de atenuación debido a la atenuación

de la fibra y el ancho de banda permitido debido a la dispersión de la fibra. No debe ser excedida incluso si la atenuación total calculada para el enlace óptico está por debajo de la atenuación máxima. Como muestra esta tabla, la longitud máxima del cable aumenta con el tamaño del diámetro del núcleo. Esto es debido al aumento de la potencia luminosa acoplada desde el generador de luz LED a la fibra, como resultado del mayor diámetro del núcleo de ésta y la mayor apertura numérica.

Si el usuario tiene oportunidad, debe seleccionar un tipo de fibra estándar para la instalación.

Un método muy utilizado para determinar la atenuación total del enlace es la evaluación técnica del enlace óptico. La evaluación técnica del enlace óptico (ver Sec. 12.6) lista todos los factores que contribuyen o contribuirán a la atenuación total del sistema. El resultado proporciona la atenuación total del enlace requerida para el sistema de fibra óptica. Ésta se compara entonces con la atenuación máxima del equipo para determinar si el diseño está dentro de la especificación de la atenuación.

## Procedimiento

### 1. Obtener la siguiente información del fabricante del equipo óptico:

- recomendaciones para el diámetro de la fibra óptica: 8/125, 50/125, 62,5/125, 100/140
- atenuación máxima recomendada de la fibra óptica en dB/km
- apertura numérica recomendada (AN) de la fibra óptica
- ancho de banda máximo de la fibra óptica (MHz × km) a la longitud de onda de trabajo recomendada
- longitud máxima recomendada de la fibra óptica
- atenuación máxima especificada para el equipo
- sensibilidad del receptor del equipo al BER adecuado
- potencia media de salida del equipo transmisor
- rango dinámico del equipo receptor

Si el fabricante facilita las pérdidas máximas y el receptor tiene un rango dinámico completo (opera tanto con potencia luminosa mínima como con máxima), las especificaciones para la sensibilidad del receptor y la potencia media de salida del transmisor no son necesarias.

Pérdidas máximas = Potencia media salida transmisor – Sensibilidad receptor

### 2. Del plan de instalación de fibra óptica determinar:

- la longitud total del enlace de fibra óptica
- el número de empalmes requeridos y las pérdidas en cada uno
- el número de conexiones de fibra y las pérdidas por cada conexión
- el margen de diseño
- las pérdidas ópticas debidas a otros posibles componentes del sistema

3. Completar la evaluación técnica óptica como se describe en la Sección 12.6:
- atenuación de la fibra óptica a la longitud de onda de trabajo: distancia en kilómetros empleando dB/km
  - pérdidas en los empalmes: empalmes a dB/empalme
  - pérdidas de conexión: conexiones a dB/conexión
  - pérdidas de otros posibles componentes
  - margen de diseño
  - atenuación total del enlace
  - potencia media de salida del transmisor
  - potencia de entrada al receptor
  - rango dinámico del receptor
  - sensibilidad del receptor con el BER deseado
  - margen de reserva
4. El margen de reserva debe ser mayor que cero para un diseño adecuado del sistema. Si no lo es, reexaminar todos los valores de las pérdidas para reducir la atenuación total del enlace.

**Selección de fibra óptica: Un ejemplo.** Un enlace de fibra óptica debe ser diseñado para proporcionar comunicaciones de datos punto a punto entre dos ordenadores (ver Fig. 22.1). Se ha seleccionado un equipamiento de comunicaciones óptico que es compatible con el equipamiento del ordenador (adecuada interfaz eléctrica y protocolo de comunicaciones). Las especificaciones de fibra óptica recomendadas por el fabricante del equipamiento se presentan posteriormente en este ejemplo en forma de tabla. Además, el rango dinámico del receptor es válido desde cero hasta la máxima potencia del transmisor, 0 a 10 dB.

La longitud de cable a través de una ruta exterior ha sido medida y es de 1,2 km. Debido a la naturaleza de la instalación se requerirán cuatro cables de fibra separados para completar el enlace. Se dispondrá un panel de conexiones en ambos extremos para conectar fácilmente los cables de interconexión. ¿Qué tipo de fibra óptica debe ser seleccionado para la instalación?

Tamaño fibra (µm)	Atenuación fibra (dB/km)	AN fibra	Ancho banda fibra (MHz × km)	Máxima atenuación (dB a 850 nm)	Máxima longitud (km)
50/125	3.0	0,20	50	2.0	0.6
50/125	2.7	0.20	50	2.0	0.7
62.5/125	3.5	0,29	50	5.0	1.4
62.5/125	3.0	0.29	50	5.0	1.6
100/140	5.0	0,29	50	9.5	1.5
100/140	4.0	0.29	50	9.5	1.8

Las dos consideraciones principales para la selección de la fibra óptica son la atenuación total del enlace y la longitud de la fibra óptica. La longitud total entre equipos

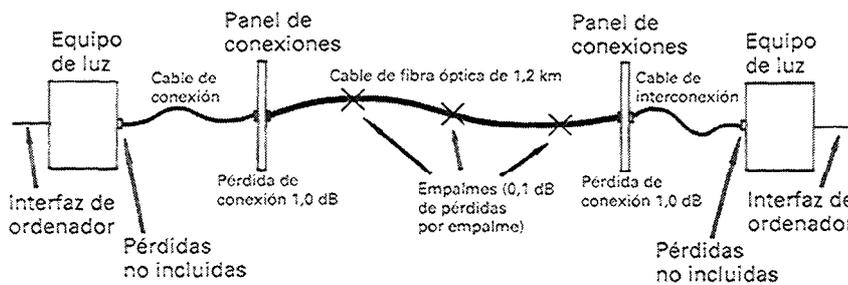


FIGURA 22.1. Ejemplo de enlace de ordenadores por fibra óptica.

terminales ópticos ha sido medida y es 1,2 km. Debe considerarse en este momento cualquier futura extensión del enlace de fibra debe ser. Tanto la atenuación del enlace óptico como la longitud del cable de fibra aumentarán si se añade un tramo de fibra para prever requerimientos futuros adicionales. Si esto no ha sido planeado previamente, puede no ser posible llevar a cabo una extensión para el cable de fibra. Para este ejemplo no se requiere ninguna futura extensión del enlace.

El primer paso es recopilar toda la información conocida para determinar la evaluación técnica de la instalación del enlace.

La longitud del cable de fibra óptica es 1,2 km. Se requieren tres uniones para conectar los cuatro tramos del cable. Puesto que los cables serán unidos en el exterior, se ha elegido el método de empalme por fusión, con unas pérdidas máximas de 0,1 dB por empalme. Hay que usar dos paneles de conexiones con cables de interconexión para conectar los equipos. El cable de fibra óptica tiene que ser terminado directamente con conectores. La pérdida de conexión en cada panel de conexiones es 1,0 dB. Las pérdidas de los cables de interconexión entre los equipos no se añaden a la evaluación del enlace porque ya han sido tenidas en cuenta en las especificaciones del fabricante. Los cordones o cables de interconexión son tan cortos como 3 metros, por lo que su atenuación es mínima y por ende despreciable.

1. La información siguiente se ha obtenido de los fabricantes del cable y del equipamiento óptico:

- tipo y diámetro de fibra óptica recomendados, tabulados para seis fibras ópticas
- atenuación máxima de fibra óptica recomendada (dB/km) a la longitud de onda de trabajo, tabulados para seis fibras ópticas
- apertura numérica recomendada de la fibra óptica (AN) tabulada para seis fibras ópticas
- ancho de banda recomendado de la fibra óptica (MHz × km) a la longitud de onda de trabajo, tabulado para seis fibras ópticas
- máxima longitud de la fibra óptica, tabulada para seis fibras ópticas
- especificaciones de las máximas pérdidas del equipamiento para cada fibra óptica utilizada, tabuladas para seis fibras ópticas
- sensibilidad del receptor para un BER no proporcionado
- potencia media de salida del transmisor, no proporcionada
- rango dinámico del equipo receptor, desde la máxima potencia hasta la mínima sensibilidad (un rango dinámico pleno)

2. Del plan de la instalación de la fibra óptica:

- la longitud total del enlace de fibra óptica es de 1.2 km
- el número total de empalmes precisados es de tres a razón de 0,1 dB por empalme
- el número de conexiones de fibra es de dos a 1 dB por conexión
- el margen de diseño se estima en 2 dB
- las pérdidas debidas a otros componentes en el sistema las consideramos como cero

A partir del listado de fibras ópticas recomendadas por el fabricante del equipo óptico, el criterio de distancia nos lleva a las fibras ópticas de los tipos 62.5/125 o 100/140. La primera elección de fibra óptica es la estándar 62.5/125 con 3,0 dB/km de pérdidas. Usaremos ésta para un cálculo preliminar de nuestro proyecto óptico.

3. Proyecto óptico:

Pérdidas de la fibra óptica a 850 nm:	
1.2 km longitud a 3,0 dB/km	3,6 dB
Pérdidas en los empalmes:	
Tres empalmes a 0,1 dB/empalme	0,3 dB
Pérdidas en las conexiones:	
Dos conexiones a 1,0 dB/conexión	2,0 dB
Pérdidas de otros componentes	0 dB
Margen óptico	<u>2,0 dB</u>
Pérdidas totales del enlace	<u>7,9 dB</u>

Por lo tanto, utilizando la fibra óptica de 62.5/125 µm a 3,0 dB/km, el enlace total tendrá unas pérdidas de 7,9 dB. Esto es más elevado que el valor dado por el fabricante del equipo óptico, cuyas máximas pérdidas son de 5,0 dB, y por lo tanto no puede utilizarse.

Una segunda elección sería la fibra tipo 100/140 con 4 dB/km de atenuación. El proyecto del enlace nos muestra lo siguiente:

Pérdidas de la fibra óptica a 850 nm:	
1.2 km de longitud a 4,0 dB/km	4,8 dB
Pérdidas en los empalmes:	
Tres empalmes a 0,1 dB/empalme	0,3 dB
Pérdidas en las conexiones:	
Dos conexiones a 1,0 dB/conexión	2,0 dB
Pérdidas de otros componentes	0 dB
Margen óptico	<u>2,0 dB</u>
Pérdidas totales del enlace	<u>9,1 dB</u>

Las pérdidas totales del enlace utilizando la fibra tipo 100/140 µm a 4 dB/km son de 9,1 dB. Éstas son menores que las suministradas por el fabricante del equipo óptico, cuyas máximas pérdidas alcanzan los 9,5 dB. Por lo tanto, se han satisfecho los criterios de máximas pérdidas. La longitud total de 1,8 km facilitada por los fabricantes de los equipos ópticos es superior a los 1,2 km requeridos por la instalación y, por lo tanto, también se cumplen los criterios de longitud. Consecuentemente, este tipo de fibra óptica puede ser utilizado en la instalación.

Muchos fabricantes de equipos ópticos para redes RAL recomendarán solamente un tipo de fibra óptica (62.5/125) para utilizar con sus equipamientos. Esto simplifica el proceso. El siguiente ejemplo muestra los cálculos basados en esta información.

**Fibra óptica estándar utilizada con equipos ópticos para RAL: Un ejemplo.** Una sección de RAL debe ser ampliada en una planta utilizando fibra óptica. Para este enlace se van a considerar dos repetidores RAL de fibra óptica proyectados específicamente con este propósito. Los fabricantes de los repetidores proporcionan la información siguiente para la fibra óptica que va a utilizarse con este equipamiento:

Longitud de onda de trabajo del equipo	850 nm
Tipo de fibra óptica	multimodo 62.5/125, AN = 0.29
Ancho de banda de la fibra	100 MHz × km
Máxima atenuación de la fibra	5.0 dB/km
Longitud máxima de la fibra	1 km
Rango dinámico del receptor	pleno rango

El fabricante del equipo asume que la fibra óptica no será empalmada, que solamente se requerirán dos conectores para el equipamiento, y que no habrá que añadir más pérdidas al enlace.

La longitud medida del enlace de fibra óptica fue de 0.7 km. El cable de fibra óptica será el indicado para este enlace y no necesitará ni paneles de interconexión ni empalmes. ¿Qué tipo de fibra óptica será necesario adquirir para que este enlace sea operativo? ¿Cómo será el diseño?

Este proyecto es simple, y el fabricante del equipamiento proporciona toda la información necesaria para la adecuada adquisición de la fibra óptica.

La longitud de la fibra óptica medida será de 0,7 km, valor que es menor que los criterios de máxima longitud del fabricante del equipo. No se utilizan ni conectores ni empalmes (sólo los conectores terminales). Las únicas pérdidas serán las resultantes de la atenuación de la propia fibra óptica. El cable a seleccionar deberá proporcionar las mismas o mejores especificaciones que las que recomienda el fabricante. El proyecto deberá asemejarse al mostrado en la Figura 22.2 con un cable fibra exclusivo para este enlace sin conectores ni uniones. Si se necesitase añadir empalmes o conectores, entonces se proyectaría el enlace para darle su adecuada dimensión. Por ejemplo, si se añaden dos conectores y un empalme al enlace de fibra, entonces el proyecto tomaría la forma siguiente:

Pérdidas en la fibra óptica a 850 nm	
0.7 km de longitud a ? dB/km	? dB
Pérdidas en empalmes:	
Un empalme a 0,1 dB/empalme	0,1 dB
Pérdidas de conexión:	
Dos conexiones a 1,0 dB/conexión	2,0 dB
Pérdidas de otros componentes	0 dB
Margen óptico	<u>2,0 dB</u>
Pérdidas totales del enlace	5,0 dB

La máxima atenuación de una fibra del equipamiento del fabricante se convierte en las máximas pérdidas multiplicando por un kilómetro de longitud. El resultado de 5 dB

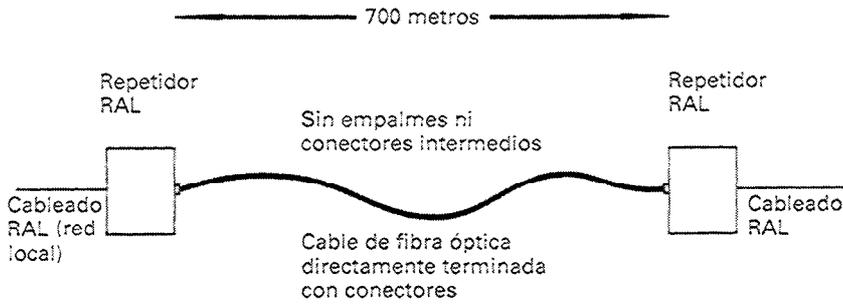


FIGURA 22.2. RAL simple por fibra óptica.

se utiliza como pérdidas totales del enlace. Reconstruyendo la ecuación, las pérdidas de la fibra óptica que se obtienen son de 0,9 dB, y la atenuación de la fibra óptica deberá ser de 1,2 dB/km o menos.

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas de la fibra óptica} &= 5,0 - 2,0 - 2,0 - 0,1 \\ \text{Pérdidas de la fibra óptica} &= 0,9 \text{ dB} \\ \text{Atenuación de la fibra óptica} &= 0,9 \text{ dB}/0,7 \text{ km} \\ \text{Máxima atenuación de la fibra óptica} &= 1,2 \text{ dB/km} \end{aligned}$$

Si se añaden dos conectores y un empalme al enlace se requiere una fibra óptica de atenuación máxima 1,2 dB/km.

En el ejemplo siguiente, el fabricante del equipamiento proporciona la potencia nominal de salida del equipo óptico y la sensibilidad del receptor, en lugar de atenuación o del nivel de pérdidas. Esto requiere cálculos adicionales aunque no es complicado.

**Potencia de salida óptica nominal y sensibilidad del receptor: Un ejemplo.** Se utiliza un enlace de fibra óptica para conectar una cámara remota de vídeo de vigilancia hasta un monitor que está alejado 3 km (ver Fig. 22.3). La cámara es un modelo de alta calidad con 10 MHz de ancho de banda y una salida de vídeo en el estándar NTSC. Se ha encontrado un fabricante de equipamiento óptico que puede convertir las señales eléctricas NTSC de 10 MHz en señal de transmisión óptica, y cuyas especificaciones del equipo son las siguientes:

Longitud de onda de trabajo	1.310 nm
Tipo de fibra óptica	multimodo 62.5/125, AN = 0,29
Ancho de banda de la fibra óptica	300 MHz × km
Potencia nominal de salida óptica	-15 dBm
Sensibilidad del receptor	-25 dBm a S/N 68 dB
Máxima longitud de la fibra óptica	3 km
Rango dinámico del receptor	-20 dBm a -25 dBm

Para la instalación se necesitarán dos paneles de conexiones y dos empalmes. ¿Puede utilizarse este equipamiento óptico? Si es así, ¿qué fibra óptica se necesitará?

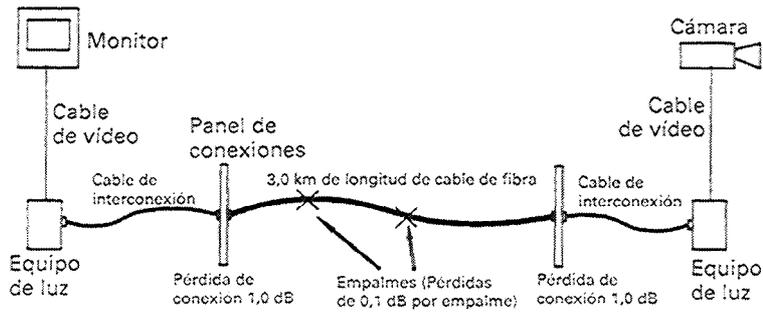


FIGURA 22.3. Ejemplo de enlace de vídeo por fibra óptica.

El primer paso a dar es determinar el proyecto de instalación. La longitud del enlace es de 3 km. Se precisan dos empalmes para conectar las tres secciones de cable entre sí. Como los cables van a ser empalmados en el exterior, se ha seleccionado el método de fusión con unas pérdidas de 0,1 dB. El cable será terminado directamente con conectores. Se usarán dos paneles de conexiones con latiguillos para conectarlos al equipo. Las pérdidas de conexión en cada panel de conexiones son de 1,0 dB. Las pérdidas de los latiguillos no se añaden a la instalación del enlace porque ya están incluidas en las especificaciones del equipamiento del fabricante. Los latiguillos son de una longitud de apenas 3 metros, por lo que la atenuación de su fibra es mínima y puede ignorarse.

1. Procedente del fabricante del equipo se ha obtenido la siguiente información:

- recomendación para el diámetro de fibra óptica 62,5/125
- atenuación de la fibra óptica a determinarse
- apertura numérica de la fibra óptica  $AN = 0.29$
- ancho de banda de la fibra óptica a la longitud de onda de trabajo  $300 \text{ MHz} \times \text{km}$
- 3 km de longitud máxima de fibra óptica
- máximas pérdidas del equipamiento no suministradas
- sensibilidad del receptor  $-25 \text{ dBm}$  a 68 S/N
- potencia media de salida del transmisor  $-15 \text{ dBm}$
- margen dinámico del receptor de  $-20$  a  $-25 \text{ dBm}$

2. Del plan de instalación de la fibra óptica:

- la longitud total del enlace óptico es de 3 km
- el número total de empalmes ópticos es de dos a 0,1 dB por empalme
- el número de conexiones de la fibra es de dos a 1 dB por conexión
- el margen de diseño estimado es de 2 dB
- las pérdidas ópticas debidas a otros componentes del sistema son nulas

3. Los cálculos del proyecto óptico son los siguientes:

a) Pérdidas en la fibra óptica a 1.310 nm: 3,0 km largo a ? dB/km	? dB
b) Pérdidas en empalmes: Dos empalmes a 0,1 dB/empalme	0,2 dB
c) Pérdidas de conexión: Dos conectores a 1,0 dB/conexión	2,0 dB
d) Pérdidas de otros componentes	0 dB
e) Margen óptico	<u>1,0 dB</u>
f) Pérdida total del enlace	? dB
g) Potencia media de salida del transmisor	-15,0 dBm
h) Potencia de entrada del receptor (g - f)	? dBm
i) Rango dinámico del receptor	-20 a -25 dBm
j) Sensibilidad del receptor a 68 dB S/N	-25 dBm
k) Margen restante (h - j)	0 dB

Trabajando con datos anteriores, resolvemos la entrada de potencia al receptor utilizando el margen restante de 0 dB y la sensibilidad del receptor de -25 dBm.

Potencia entrada receptor = Margen restante + sensibilidad receptor

Potencia entrada receptor = 0 dB + (-25 dBm)

Potencia entrada receptor = -25 dBm

A continuación resolvemos las pérdidas totales del enlace:

Pérdidas totales del enlace = Potencia media salida transmisor - potencia entrada receptor

Pérdidas totales enlace = -15 dBm - (-25 dBm)

Pérdidas totales enlace = 10 dB

Para determinar las pérdidas en la fibra óptica debemos utilizar la siguiente fórmula:

Pérdidas en la fibra óptica = Pérdidas total enlace - pérdidas conexión  
- Margen óptico - pérdidas uniones

Pérdidas fibra óptica = 10,0 - 2,0 - 2,0 - 0,2

Pérdidas fibra óptica = 5,8 dB

Las pérdidas de la fibra óptica se dividen entre la longitud total del cable para determinar la atenuación de la fibra óptica:

Atenuación fibra óptica = 5,8 dB/3,0 km

Atenuación fibra óptica = 1,9 dB/km

La fibra óptica 62,5/125 (AN = 0,29) para ser utilizada en esta instalación debería tener una atenuación no mayor que 1,9 dB/km a 1.310 nm. Para satisfacer el criterio del ancho de banda, el cable debería tener un ancho de banda de 300 MHz × km y ser más corto que 3 km.

En estos ejemplos se utilizó el margen óptico de 2 dB para prever futuras contingencias, como pueden ser empalmes adicionales de fibra óptica, conexiones sucias o ampliación de la extensión del cable.

### 22.3. CÁLCULOS DEL ANCHO DE BANDA

Para algunas instalaciones de fibra óptica es necesario determinar el ancho de banda máximo que la fibra óptica podrá soportar con éxito. Este dato puede ser necesario porque los fabricantes del equipamiento óptico no nos han proporcionado suficientes detalles para la instalación o porque el diseño del sistema resulta complejo. El mejor método para determinar el máximo ancho de banda del sistema es el de la medida directa. No obstante, esto supone un gasto de tiempo y requiere un equipo de medida sofisticado. Pueden utilizarse ecuaciones teóricas para predecir el ancho de banda del sistema, pero ello envuelve cálculos complejos que salen fuera del alcance de este libro. Una aproximación muy útil se consigue siguiendo el método que se describe en esta sección.

#### Fibras multimodo

El ancho de banda de transmisión por fibras multimodo está limitado por parámetros de la fibra óptica, como la dispersión modal y la dispersión cromática, y también por parámetros de los equipos ópticos, generadores de luz y tiempo de subida (respuesta) del fotodetector. Cuando se calcula el ancho de banda deberían tenerse en cuenta todos estos parámetros.

Para aproximarnos a la máxima velocidad de transmisión de las fibras multimodo deben obtenerse del fabricante unos datos muy precisos de la fibra y del equipamiento. La información requerida es la siguiente:

#### Datos de la fibra

Ancho de banda modal de la fibra óptica (a la longitud de onda de trabajo):	MHz × km	$B_{\text{Modal}} \text{ (MHz} \times \text{km)}$
Dispersión cromática de la fibra (a la longitud de onda de trabajo):	ns/nm × km	$D_{\text{Cromat.}} \text{ (ns/nm} \times \text{km)}$
Longitud total de la fibra instalada:	km	$d_{\text{instal.}} \text{ (km)}$
Longitud de fábrica de la fibra óptica:	km	$d_{\text{fábrica}} \text{ (km)}$
Gamma, concatenación/rebaje:	gamma	$\gamma$

#### Datos del equipamiento de onda luminosa

Régimen de transmisión en baudios:	Mbps	$R_{\text{(Mbps)}}$
Método de modulación óptica:	NRZ, RZ, Manchester, Analógico	
Anchura espectral del generador de luz:	nm	$W_{\text{Espectr.}} \text{ (nm)}$
Tiempo de subida del generador de luz:	ns	$T_{\text{Gene.luz}} \text{ (ns)}$
Tiempo de subida del detector:	ns	$T_{\text{Detect.}} \text{ (ns)}$
Longitud de onda de trabajo:	nm	$\lambda$

Para las fibras multimodo, deben considerarse tanto la dispersión cromática como la dispersión multimodo (modal) a la hora de determinar la máxima velocidad de transmisión de datos del enlace de fibra óptica. Las especificaciones de los fabricantes dan listados del ancho de banda modal de las fibras ópticas en función de la dis-

tancia, en MHz × km. Este valor no incluye la dispersión cromática, que viene dada por los fabricantes como tiempo de subida de la fibra en las unidades ns/nm × km. Estas dos unidades son necesarias para determinar un valor final del ancho de banda.

Con el fin de efectuar estos cálculos debe determinarse de forma muy precisa la longitud de la fibra óptica en la instalación. Esta longitud es el largo total de fibra de la instalación comprendida entre el transmisor óptico y el receptor terminal del equipamiento.

La longitud de fábrica de la fibra es la longitud de fibra que ha usado el fabricante para medir el ancho de banda modal de la fibra óptica (MHz × km).

La gamma de rebaje es el valor gamma proporcionado por el fabricante para tramos instalados de fibra más cortos que los usados en fábrica por el fabricante para medir el ancho de banda modal de la fibra óptica. La gamma de concatenación es el valor gamma proporcionado por el fabricante para tramos de fibra instalados que son más largos que los empleados en fábrica para medir el ancho modal de la fibra óptica.

La velocidad de transmisión en baudios es el régimen eléctrico en baudios del equipo.

El método de modulación es comúnmente del tipo PCM con NRZ, RZ, código Manchester, o modulación analógica de amplitud.

La anchura espectral del generador de luz es la anchura espectral en nanómetros considerada a mitad de potencia óptica (-3 dB).

El tiempo de subida del generador de luz y del detector es el tiempo en nanosegundos que necesita una señal de entrada con forma de onda en escalón para subir entre el 10 y el 90 por 100 de la amplitud total medida a la salida.

La longitud de onda de trabajo es la longitud de onda que usa el sistema para las comunicaciones. Todos los ensayos deben ser efectuados y los parámetros de la fibra obtenidos para esta longitud de onda de trabajo.

Para determinar el tipo de fibra, dados los parámetros del equipo óptico, deben seguirse los siguientes pasos:

1. Primero, el ancho de banda eléctrico del sistema ( $B_{\text{Sist. Electr. (MHz)}}$ ) debe ser determinado a partir de la velocidad de transmisión de datos requerida en Mbps. El ancho de banda depende del método de modulación. Una modulación en código NRZ requiere la mitad de ancho de banda que una modulación en código RZ:

$$B_{\text{Sist. Electr. (MHz)}} = R_{\text{RZ (Mbps)}}$$

$$B_{\text{Sist. Electr. (MHz)}} = R_{\text{Manchester (Mbps)}}$$

$$B_{\text{Sist. Electr. (MHz)}} = F_{\text{Analog (MHz)}}$$

$$B_{\text{Sist. Electr. (MHz)}} = \frac{R_{\text{NRZ (Mbps)}}}{2}$$

2. Con objeto de calcular los parámetros desconocidos se aplicará la ecuación siguiente del tiempo de subida:

$$T^2_{\text{Modal (ns)}} + T^2_{\text{Cromática (ns)}} = T^2_{\text{Sistema (ns)}} - T^2_{\text{Generador (ns)}} - T^2_{\text{Detector (ns)}}$$

El miembro izquierdo de esta ecuación puede ser considerado como el tiempo total de subida de la fibra óptica:

$$T_{\text{Fibra(ns)}}^2 = T_{\text{Modal(ns)}}^2 + T_{\text{Cromática(ns)}}^2$$

El miembro derecho de esta ecuación puede considerarse como el tiempo de subida del equipo:

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

3. Primero se calcula el tiempo de subida atribuible a los parámetros del equipo. El ancho de banda del sistema eléctrico se convierte a tiempo de subida usando una aproximación conservadora:

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 0.35/B_{\text{Sist.Electr(GHz)}}$$

4. Utilizando los datos del fabricante, se introducen en la ecuación del tiempo de subida del equipo los tiempos de subida del generador de luz y del detector:

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

5. A continuación, se determinan los valores para el tiempo de subida total de la fibra. Se calcula el tiempo de subida para la dispersión cromática:

$$T_{\text{Cromática(ns)}} = D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} \times W_{\text{Espectral(nm)}} \times d_{\text{Instal.(km)}}$$

6. El producto ancho de banda modal por longitud de la fibra óptica se convierte en un ancho de banda modal total de la fibra instalada para todo el tramo de fibra:

$$B_{\text{Modal.Instal.(MHz)}} = B_{\text{Modal(MHz} \times \text{km)}} / d_{\text{Instal.(km)}}$$

Si en el momento de la instalación la longitud de cable no es la misma que la longitud de fábrica, entonces debe aplicarse el factor gamma del fabricante para ajustar el ancho de banda a la longitud instalada.

Los valores del ancho de banda modal de la fibra óptica se miden en fábrica para una longitud estándar. Si la longitud de fibra empleada en una instalación es mayor o menor, el ancho de banda modal de la fibra cambiará. El factor gamma proporciona una corrección para este cambio en longitud. Consultando al fabricante se puede obtener la longitud empleada para medir el ancho de banda modal de la fibra óptica. El valor gamma ( $\gamma$ ) no tiene unidades y varía entre 0,5 y 1,0.

Si la longitud de la instalación de fibra óptica es inferior a la longitud medida en fábrica (la fibra es recortada), se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$B_{\text{Modal.Instal.(MHz)}} = (B_{\text{Modal(MHz} \times \text{km)}} / d_{\text{Fábrica(km)}}) \times (d_{\text{Fábrica(km)}} / d_{\text{Instal.(km)}})^{\gamma}$$

Si la longitud de la instalación de fibra óptica es mayor que la longitud medida en fábrica, se concatenarán varios tramos de longitudes de fibra de fábrica, y se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$B_{\text{ModalInstal. (MHz)}} = \left[ \sum \text{NúmeroDeFibras} (B_{\text{Modal (MHz} \times \text{km)}} / d_{\text{Fábrica (km)}})^{-1/r} \right]^{-r}$$

7. El ancho de banda modal de la fibra óptica se convierte a ancho de banda modal eléctrico. Esto es necesario porque una caída de 3 dB en potencia óptica equivale a una de 6 dB en potencia eléctrica.

$$B_{\text{ModalEléctrico (MHz)}} = 0.71 \times B_{\text{ModalInstalación (MHz)}}$$

8. El ancho de banda modal eléctrico se convierte entonces a un tiempo de subida modal:

$$T_{\text{Modal (ns)}} = 0.35 / B_{\text{ModalEléctrico (GHz)}}$$

9. A continuación se calcula el tiempo de subida total de la fibra:

$$T^2_{\text{Fibra (ns)}} = T^2_{\text{Modal (ns)}} + T^2_{\text{Cromático (ns)}}$$

El ancho de banda eléctrico total de la fibra óptica puede calcularse como sigue:

$$B_{\text{FibraTotal (GHz)}} = 0.35 / T_{\text{Fibra (ns)}}$$

10. Si el tiempo de subida total de la fibra  $T_{\text{Fibra (ns)}}$  es igual o menor que el tiempo de subida total del equipo  $T_{\text{Equipo}}$ , la selección de la fibra óptica es apropiada para la velocidad de transmisión de datos requerida del equipo.

**Enlace de comunicaciones RAL de datos: Un ejemplo.** Un enlace de fibra óptica debe ser diseñado para proporcionar comunicación RAL de datos a 10 Mbps. La distancia del camino de fibra óptica entre repetidores RAL es 3,2 km. El cable de fibra óptica se adquiere con una longitud de fábrica de 4.4 km y se recorta para la instalación. El equipo óptico a seleccionar tiene las siguientes especificaciones de datos:

Velocidad máxima en baudios:	10 Mbps
Método de modulación:	NRZ
Ancho espectral óptico:	20 nm
Tiempo de subida del generador de luz:	12 ns
Tiempo de subida del fotodetector:	20 ns
Longitud de onda de transmisión:	850 nm

Se contempla el siguiente tipo de fibra para la instalación:

Tipo de fibra:	Multimodo 62,5/125 $\mu\text{m}$
Ancho de banda a 850 nm:	160 MHz $\times$ km
Dispersión cromática:	0,1 ns/nm $\times$ km
Longitud de fábrica:	4,4 km
Longitud de la instalación:	3,2 km
Gamma de recorte:	0,5

¿Puede mantener esta fibra óptica la velocidad de transmisión de datos del equipo óptico?

1. En primer lugar, se determina el ancho de banda eléctrico del sistema:

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = R_{\text{NRZ (Mbps)}} / 2$$

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = 10 / 2$$

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = 5 \text{ MHz}$$

2. Entonces se aplicará la ecuación de evaluación del tiempo de subida para determinar si el ancho de banda de la fibra es aceptable:

$$T_{\text{Modal (ns)}}^2 + T_{\text{Cromática (ns)}}^2 = T_{\text{Sistema (ns)}}^2 - T_{\text{Generador (ns)}}^2 - T_{\text{Detector (ns)}}^2$$

3. El ancho de banda del sistema eléctrico se convierte en un tiempo de subida aproximado:

$$T_{\text{Sistema (ns)}} = 0,35 / B_{\text{Sistema Eléctrico (GHz)}}$$

$$T_{\text{Sistema (ns)}} = 0,35 / 0,005$$

$$T_{\text{Sistema (ns)}} = 70 \text{ ns}$$

4. Se puede calcular el tiempo de subida atribuible a los parámetros del equipo óptico:

$$T_{\text{Equipo (ns)}}^2 = T_{\text{Sistema (ns)}}^2 - T_{\text{Generador (ns)}}^2 - T_{\text{Detector (ns)}}^2$$

$$T_{\text{Equipo (ns)}}^2 = 70^2 - 12^2 - 20^2$$

$$T_{\text{Equipo (ns)}} = 66 \text{ ns}$$

5. Se calcula el tiempo de subida para la dispersión cromática de la fibra óptica:

$$T_{\text{Cromática (ns)}} = D_{\text{Cromática (ns/nm} \times \text{km)}} \times W_{\text{Espectral (nm)}} \times d_{\text{Instal. (km)}}$$

$$T_{\text{Cromática (ns)}} = 0,1 \times 20 \times 3,2$$

$$T_{\text{Cromática (ns)}} = 6,4 \text{ ns}$$

6. La longitud de instalación de la fibra óptica es inferior a la longitud de medida del ancho de banda en fábrica; por lo tanto, se usará la ecuación una gamma de recorte para ajustar el valor del ancho de banda modal:

$$B_{\text{Modal Instal. (MHz)}} = (B_{\text{Modal (MHz} \times \text{km)}} / d_{\text{Fábrica (km)}}) \times (d_{\text{Fábrica (km)}} / d_{\text{Instal. (km)}})^{\gamma}$$

$$B_{\text{Modal Instal. (MHz)}} = 160 / 4,4 \times (4,4 / 3,2)^{0,5}$$

$$B_{\text{Modal Instal. (MHz)}} = 42,6 \text{ MHz}$$

7. El ancho de banda modal óptico se convierte a ancho de banda eléctrico:

$$B_{\text{ModalEléctrico(MHz)}} = 0,71 \times B_{\text{ModalInstalacion(MHz)}}$$

$$B_{\text{ModalEléctrico(MHz)}} = 0,71 \times 42,6$$

$$B_{\text{ModalEléctrico(MHz)}} = 30,2 \text{ MHz}$$

8. El ancho de banda modal eléctrico se convierte entonces en tiempo de subida modal:

$$T_{\text{Modal(ns)}} = 0,35/B_{\text{ModalEléctrico(GHz)}}$$

$$T_{\text{Modal(ns)}} = 0,35/0,0302$$

$$T_{\text{Modal(ns)}} = 11,6 \text{ ns}$$

9. Por lo tanto, el tiempo de subida total de la fibra se calcula como sigue:

$$T^2_{\text{Fibra(ns)}} = T^2_{\text{Modal(ns)}} + T^2_{\text{Cromática(ns)}}$$

$$T^2_{\text{Fibra(ns)}} = 11,6^2 + 6,4^2$$

$$T_{\text{Fibra(ns)}} = 13,2 \text{ ns}$$

El ancho de banda eléctrico total de la fibra óptica se calcula de la siguiente forma:

$$B_{\text{FibraTotal(GHz)}} = 0,35/T_{\text{Fibra(ns)}}$$

$$B_{\text{FibraTotal(GHz)}} = 0,35/13,2$$

$$B_{\text{FibraTotal(GHz)}} = 26,5 \text{ MHz}$$

10. El tiempo de subida total de la fibra óptica es 13,2 ns, el cual es inferior al tiempo de subida de 66 ns requerido por el equipo. Por lo tanto, esta elección de la fibra óptica es adecuada para la velocidad requerida de transmisión de datos.

**Enlace de transmisión de vídeo en circuito cerrado: Un ejemplo.** Se va a diseñar un enlace por fibra óptica para proporcionar un enlace de transmisión de vídeo a una cámara de vídeo monitorizando en circuito cerrado. La distancia del camino de la fibra óptica entre módems ópticos es 4,4 km. El equipo del módem óptico a seleccionar tiene las siguientes especificaciones:

Ancho de banda de vídeo a 3 dB:	10 MHz
Método de modulación:	Analógico
Anchura espectral de la luz:	20 nm
Tiempo de subida del generador de luz:	5 ns
Tiempo de subida del fotodetector:	8 ns
Longitud de onda de transmisión:	850 nm

Se contempla el siguiente tipo de fibra para la instalación:

Tipo de fibra:	Multimodo 62,5/125 $\mu\text{m}$
Ancho de banda a 1.310 nm:	200 MHz $\times$ km
Dispersión cromática:	0,1 ns/nm $\times$ km
Longitud de fábrica:	2,2 km
Longitud de instalación:	4,4 km
Gamma de concatenación:	0,9

¿Tendrá esta fibra óptica suficiente ancho de banda para el largo de fibra requerido?

1. Primeramente, se determina el ancho de banda eléctrico del sistema:

$$B_{\text{Sist.Eléctr(MHz)}} = R_{\text{Analog(MHz)}}$$

$$B_{\text{Sist.Eléctr(MHz)}} = 10 \text{ MHz}$$

2. Se aplicará la ecuación de evaluación del tiempo de subida para determinar si el ancho de banda de la fibra es aceptable:

$$T_{\text{Modal(ns)}}^2 + T_{\text{Cromática(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

3. Se convierte el ancho de banda del sistema eléctrico a un tiempo de subida aproximado:

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 0,35/B_{\text{SistemaEléctrico(GHz)}}$$

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 0,35/0,01$$

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 35 \text{ ns}$$

4. El tiempo de subida atribuible a los parámetros del equipo óptico puede calcularse como sigue:

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = 35^2 - 5^2 - 8^2$$

$$T_{\text{Equipo(ns)}} = 33,7 \text{ ns}$$

5. El tiempo de subida para la dispersión cromática de la fibra óptica se calcula a continuación:

$$T_{\text{Cromática(ns)}} = D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} \times W_{\text{Espectral(nm)}} \times d_{\text{Instal.(km)}}$$

$$T_{\text{Cromática(ns)}} = 0,1 \times 20 \times 4,4$$

$$T_{\text{Cromática(ns)}} = 8,8 \text{ ns}$$

6. La longitud de instalación de la fibra óptica requiere dos largos de cable de fábrica; por lo tanto, la ecuación de gamma de concatenación se usará para ajustar el valor del ancho de banda modal.

$$B_{\text{ModalInstal. (MHz)}} = \left[ \sum \text{NúmeroDeFibras} (B_{\text{Modal (MHz} \times \text{km)} / d_{\text{Fibra (km)}})^{-1/\alpha}} \right]^{-\alpha}$$

$$B_{\text{ModalInstal. (MHz)}} = [(200/2,2)^{-1/0,9} + (200/2,2)^{-1/0,9}]^{-0,9}$$

$$B_{\text{ModalInstal. (MHz)}} = 48,7 \text{ MHz}$$

7. El ancho de banda modal se convierte entonces en ancho de banda eléctrico:

$$B_{\text{ModalEléctrico (MHz)}} = 0,71 \times B_{\text{ModalInstalación (MHz)}}$$

$$B_{\text{ModalEléctrico (MHz)}} = 0,71 \times 48,7$$

$$B_{\text{ModalEléctrico (MHz)}} = 34,6 \text{ MHz}$$

8. El ancho de banda modal eléctrico se convierte a continuación en un tiempo de subida modal:

$$T_{\text{Modal (ns)}} = 0,35 / B_{\text{ModalEléctrico (GHz)}}$$

$$T_{\text{Modal (ns)}} = 0,35 / 0,0346$$

$$T_{\text{Modal (ns)}} = 10,1 \text{ ns}$$

9. Por lo tanto el tiempo de subida total de la fibra se calcula como sigue:

$$T_{\text{Fibra (ns)}}^2 = T_{\text{Modal (ns)}}^2 + T_{\text{Cromática (ns)}}^2$$

$$T_{\text{Fibra (ns)}}^2 = 10,1^2 + 8,8^2$$

$$T_{\text{Fibra (ns)}} = 13,4 \text{ ns}$$

El ancho de banda total eléctrico de la fibra óptica viene dado por:

$$B_{\text{FibraTotal (GHz)}} = 0,35 / T_{\text{Fibra (ns)}}$$

$$B_{\text{FibraTotal (GHz)}} = 0,35 / 13,4$$

$$B_{\text{FibraTotal (GHz)}} = 26,1 \text{ MHz}$$

10. El tiempo de subida total de la fibra óptica es de 13,2 ns. el cual es inferior al tiempo de subida de 33,7 ns requerido por el equipo. Por lo tanto, esta elección de fibra óptica es adecuada para el ancho de banda de vídeo requerido.

### Fibras monomodo

El ancho de banda de un sistema de fibra monomodo está limitado por la dispersión cromática material y por la dispersión cromática guía-onda, la cual se especifica en la forma picosegundos/(nanómetro × kilómetro) (ps/nm × km). También está limitado por parámetros del equipo tales como los tiempos de subida del generador de luz y del fotodetector. Hay fibras monomodo convencionales con una dispersión cercana a cero a la longitud de onda de trabajo de 1.310 nm, por lo que soportan anchos de banda muy elevados. Hay también disponibles fibras ópticas con dispersión cercana a cero a 1.550 nm y que se conocen como *fibras de dispersión desplazada*. También

hay disponibles fibras ópticas con dispersión cercana a cero tanto a 1.310 como a 1.550 nm, y se conocen como *fibras de dispersión plana*.

Para aproximarse a la velocidad máxima de transmisión de una fibra monomodo debemos obtener del fabricante datos precisos del equipamiento y de la fibra. Se requiere la siguiente información:

#### Datos de la fibra

Dispersión cromática material (a la longitud de onda de trabajo):	ns/nm × km	$D_{\text{Material}}(\text{ns/nm} \times \text{km})$
Dispersión cromática guía-onda (a la longitud de onda de trabajo):	ns/nm × km	$D_{\text{GuíaOnda}}(\text{ns/nm} \times \text{km})$
Longitud de instalación total de la fibra:	km	$d_{\text{Instal.}}(\text{km})$

#### Datos del equipo óptico

Velocidad de transmisión en baudios:	Mbps	$R_{(\text{Mbps})}$
Método de modulación óptica:	NRZ, RZ, Manchester, Analógico	
Anchura espectral del generador de luz:	nm	$W_{\text{Espectral}}(\text{nm})$
Tiempo de subida del generador de luz:	ns	$T_{\text{Generador}}(\text{ns})$
Tiempo de subida del fotodetector:	ns	$T_{\text{Detector}}(\text{ns})$
Longitud de onda de trabajo:	nm	$\lambda$

A la hora de determinar el ancho de banda de la fibra óptica deben tenerse en cuenta tanto la dispersión material como dispersión guía-onda. Las especificaciones del fabricante recogen la dispersión en las unidades ps/nm × km.

Para realizar estos cálculos se debe determinar con precisión la longitud de instalación de la fibra óptica. Esta longitud es el largo total del enlace de fibra óptica entre los equipos ópticos terminales de transmisión y de recepción.

La velocidad de transmisión en baudios es la velocidad eléctrica en baudios del equipo, en Mbps. El método de modulación es comúnmente del tipo PCM con NRZ, RZ, Código Manchester o modulación analógica de amplitud.

La anchura espectral del generador de luz es la anchura espectral a mitad de potencia (-3 dB), en nm, de la fuente de luz, la cual es frecuentemente un láser.

El tiempo de subida del generador o del detector es el tiempo en ns que se requiere para que una señal de entrada con forma de escalón suba entre el 10 y el 90 por 100 de la amplitud total a la salida.

Dados los parámetros del equipo óptico, se pueden seguir los siguientes pasos para determinar el tipo de fibra óptica:

1. En primer lugar, debe determinarse el ancho de banda eléctrico del sistema ( $B_{\text{Sist. Eléctr}}(\text{MHz})$ ) a partir de la velocidad de transmisión de datos en Mbps requerida por el sistema. El ancho de banda depende del método de modulación. Una modulación en código NRZ requiere la mitad de ancho de banda que una modulación en código RZ:

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = R_{\text{NRZ (Mbps)}}$$

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = R_{\text{Manchester (Mbps)}}$$

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = F_{\text{Analog (MHz)}}$$

$$B_{\text{Sist. Eléctr. (MHz)}} = \frac{R_{\text{NRZ (Mbps)}}}{2}$$

2. Se aplicará la ecuación de evaluación del tiempo de subida para calcular los parámetros desconocidos:

$$T_{\text{Cromático(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

El miembro izquierdo de esta ecuación puede considerarse como el tiempo de subida total de la fibra óptica:

$$T_{\text{Fibra(ns)}}^2 = T_{\text{Cromático(ns)}}^2$$

El miembro derecho de la ecuación puede considerarse como el tiempo de subida del equipo:

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

3. En primer lugar se calcula primero el tiempo de subida atribuible a los parámetros del equipo. El ancho de banda del sistema eléctrico se convierte en tiempo de subida usando una aproximación conservadora:

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 0.35/B_{\text{Sist. Eléctr (GHz)}}$$

4. Usando los datos del fabricante, se introducen los tiempos de subida del generador óptico y del detector en la ecuación del tiempo de subida del equipo, la cual se resuelve como sigue:

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

5. El tiempo de subida cromático se calcula usando los valores de la dispersión cromática de la fibra a la longitud de onda de trabajo:

$$D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} = D_{\text{Material(ns/nm} \times \text{km)}} + D_{\text{GuíaOnda(ns/nm} \times \text{km)}} \\ T_{\text{Cromático(ns)}} = D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} \times W_{\text{Espectral(nm)}} \times d_{\text{Instal.(km)}}$$

El ancho de banda eléctrico total se calcula entonces así:

$$B_{\text{FibraTotal(GHz)}} = 0.35/T_{\text{Fibra(ns)}}$$

6. Si el tiempo de subida total de la fibra  $T_{\text{Cromático(ns)}}$  es igual o menor que el tiempo de subida total del equipo  $T_{\text{Equipo}}$ , la elección de la fibra óptica es adecuada para la velocidad de transmisión de datos que el equipo requiere.

**Enlace de comunicaciones OC-3: Un ejemplo.** Se diseña un enlace de fibra óptica para proporcionar un enlace de comunicaciones OC-3 a alta velocidad y obtener 2.000 canales de comunicación vía telefónica entre dos ciudades separadas 50 km. El equipo óptico que se ha seleccionado tiene las especificaciones siguientes:

Velocidad de transmisión en baudios:	155,52 Mbps
Método de modulación óptica:	tipo NRZ
Anchura espectral del generador de luz:	20 nm
Tiempo de subida del generador de luz:	2,0 ns
Tiempo de subida del fotodetector:	1,0 ns
Longitud de onda de trabajo:	1.310 nm

La fibra óptica a seleccionar tiene las especificaciones siguientes:

Dispersión cromática material:	-6 ns/nm × km a 1.310 nm
Dispersión cromática guía-onda:	5 ns/nm × km a 1.310 nm
Longitud de instalación total de la fibra:	50 km

¿Proporcionará esta fibra óptica el ancho de banda de transmisión adecuado?

1. Primeramente, se determina el ancho de banda del sistema:

$$B_{\text{Sist. Eléct. (MHz)}} = \frac{R_{\text{NRZ (Mbps)}}}{2}$$

$$B_{\text{Sist. Eléct. (MHz)}} = \frac{155,52}{2}$$

$$B_{\text{Sist. Eléct. (MHz)}} = 77,76 \text{ MHz}$$

2. Se aplicará la ecuación de la evaluación del tiempo de subida para calcular los parámetros desconocidos:

$$T_{\text{Cromática(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

3. Se convierte el ancho de banda eléctrico del sistema eléctrico en tiempo de subida:

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 0,35/B_{\text{Sist. Eléct. (GHz)}}$$

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 0,35/0,07776$$

$$T_{\text{Sistema(ns)}} = 4,5 \text{ ns}$$

4. Entonces se resuelve la ecuación del tiempo de subida del equipo:

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = T_{\text{Sistema(ns)}}^2 - T_{\text{Generador(ns)}}^2 - T_{\text{Detector(ns)}}^2$$

$$T_{\text{Equipo(ns)}}^2 = 4,5^2 - 2,0^2 - 1,0^2$$

$$T_{\text{Equipo(ns)}} = 3,9 \text{ ns}$$

5. Se calcula el tiempo de subida para la dispersión cromática:

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} &= D_{\text{Material(ns/nm} \times \text{km)}} + D_{\text{GuíaOnda(ns/nm} \times \text{km)}} \\
 D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} &= -0,006 + 0,005 \\
 D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} &= 0,001 \text{ ns/nm} \times \text{km} \\
 T_{\text{Cromática(ns)}} &= D_{\text{Cromática(ns/nm} \times \text{km)}} \times W_{\text{Espectral(nm)}} \times d_{\text{Instal.(km)}} \\
 T_{\text{Cromática(ns)}} &= 0,001 \times 20 \times 50 \\
 T_{\text{Cromática(ns)}} &= 1 \text{ ns}
 \end{aligned}$$

El ancho de banda eléctrico total de la fibra óptica se calcula como sigue:

$$\begin{aligned}
 B_{\text{FibraTotal(GHz)}} &= 0,35/T_{\text{Fibra(ns)}} \\
 B_{\text{FibraTotal(GHz)}} &= 0,35/1,0 \\
 B_{\text{FibraTotal(GHz)}} &= 0,35 \text{ GHz}
 \end{aligned}$$

6. El tiempo de subida total de la fibra  $T_{\text{Cromática(ns)}} = 1,0 \text{ ns}$  es inferior al tiempo de subida total del equipo  $T_{\text{Equipo}} = 3,9 \text{ ns}$ , por lo que la elección de la fibra óptica es adecuada para la velocidad de transmisión de datos requerida por el equipo.

## 22.4. TOPOLOGÍAS DE RED

Las redes de fibra óptica deberían ser configuradas para dotar al sistema de la suficiente flexibilidad y versatilidad que permita obtener todos los beneficios de la fibra óptica. La práctica tradicional en la explotación de la fibra es instalar un cable de fibra dedicado exclusivamente para cada nueva aplicación. Esto puede resultar costoso y puede limitar considerablemente el potencial del cable. Los sistemas deberían ser instalados según un plan de explotación del cable de fibra óptica diseñado cuidadosamente. Entonces, por ejemplo, cuando se instala una única aplicación del tipo punto a punto, ésta puede ser sobredimensionada para una planificación futura de la red.

Las topologías de red se pueden clasificar como *topologías lógicas* o *físicas*. Una topología lógica describe el método por el cual se comunican unos con otros los nodos de la red. Una topología física es el trazado real físico del cableado y de los nodos en la red (ver Fig. 22.4).

### 22.4.1. Topologías lógicas

Hay cuatro topologías lógicas estándar:

1. Punto a punto (Point to Point)
2. En estrella (Star)
3. En enlace común (Bus)
4. En anillo (Ring)

Las secciones siguientes describirán brevemente cada una de esta topologías.

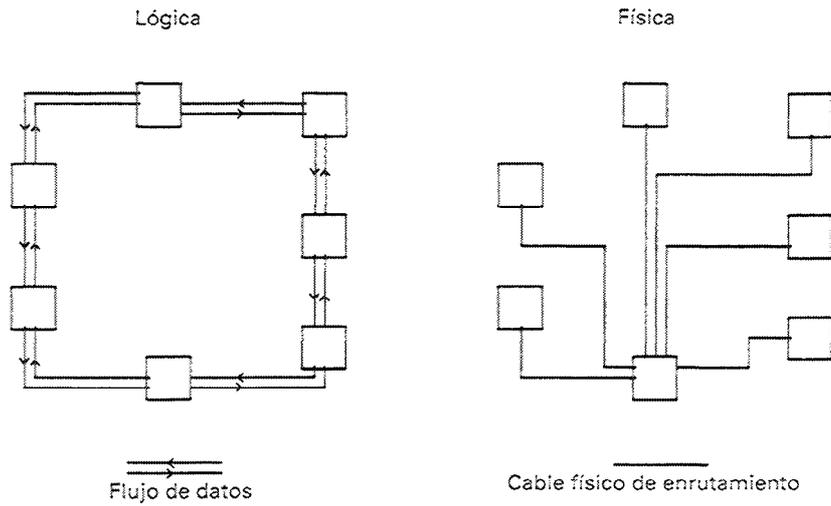


FIGURA 22.4. Topologías lógicas y física.

**1. Lógica punto a punto.** Una topología lógica punto a punto enlaza directamente dos dispositivos entre sí (ver Fig. 22.5). Los protocolos comunes de comunicación por ordenador usan esta topología, incluyendo RS232, RS422, V.35, T1, T3 y otros protocolos patentados. Las aplicaciones incluyen conexiones de ordenadores con módem, enlaces de multiplexado, enlaces de radio bidireccionales y enlaces vía satélite.

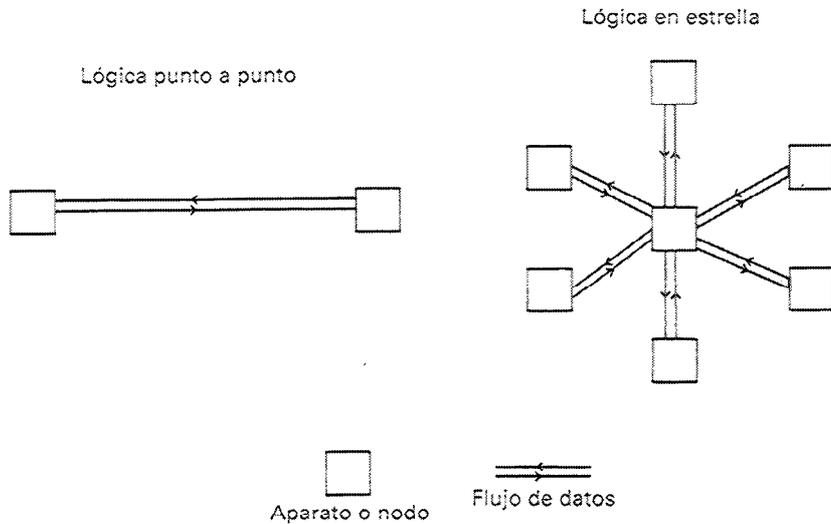


FIGURA 22.5. Topologías lógicas punto a punto y en estrella.



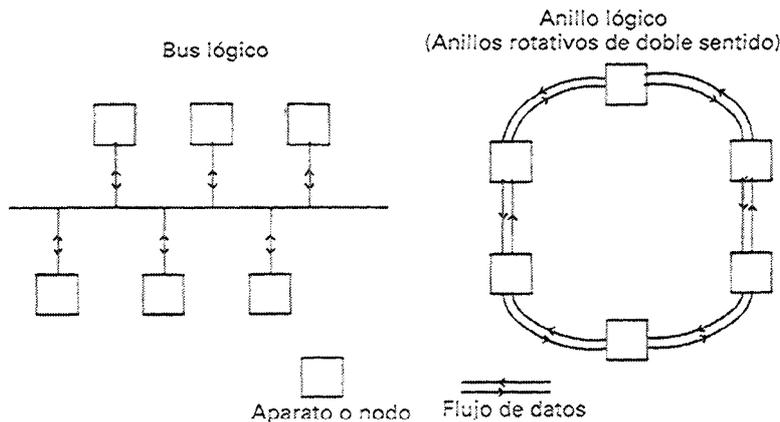


FIGURA 22.6. Topología en enlace común y en anillo.

**2. Lógica en estrella.** Una topología lógica en estrella es una configuración de enlaces punto a punto que tienen todos un nodo común (ver Fig. 22.5). Las aplicaciones incluyen sistemas telefónicos PBX y sistemas multiestación de monitorizado de vídeo.

**3. Lógica en enlace común.** En una topología lógica en enlace común, todos los dispositivos se conectan a un bus común de transmisión, normalmente un cable coaxial (ver Fig. 22.6). En este bus, la transmisión tiene lugar en ambas direcciones. Cuando un dispositivo transmite información, todos los demás dispositivos reciben la información al mismo tiempo. Esta topología en enlace común es el estándar IEEE 802.3 y 802.4. Las aplicaciones incluyen Ethernet y token bus.

**4. Lógica en anillo.** Una topología lógica en anillo tiene todos los nodos conectados en un anillo (ver Fig. 22.6). La transmisión tiene lugar por un cable en una dirección sobre el anillo. Si se usan dos anillos de transmisión, la configuración se llama anillo lógico de rotación inversa, y las transmisiones tienen lugar en sentidos opuestos en cada uno de los anillos. Esta topología en anillo doble proporciona autoprotección a la red en el caso de que fallen un cable o nodo (ver Fig. 22.7). Las aplicaciones de esta topología incluyen token ring (IEEE 802.5) y FDDI (ANSI X3T9.5).

**22.4.2. Topologías físicas**

La topología física depende del medio y se puede implementar con la misma configuración que la topología lógica. Por ejemplo, una topología lógica en anillo puede ser físicamente cableada de forma que parezca un anillo. Cada dispositivo se conecta al dispositivo adyacente en una configuración física en anillo. Muchas redes se cablean con las mismas topologías lógica y física. Por ejemplo, Ethernet 10Base5 es una topología lógica en enlace común y se cablea frecuentemente como una topología física en enlace común. Sin embargo, una topología lógica puede conectarse en una topología física diferente. La topología física de red más común y recomendada

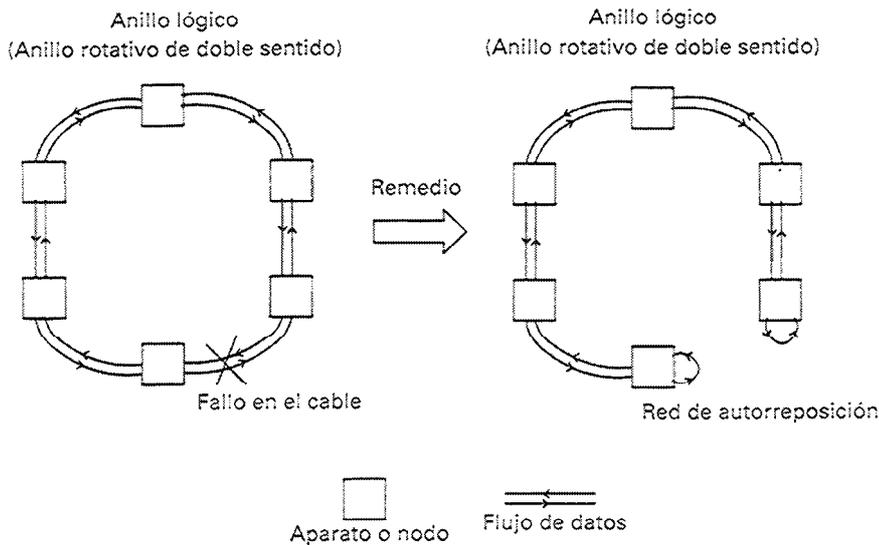


FIGURA 22.7. Anillo lógico de rotación inversa, autoprotegido.

(EIA 568)\* es la topología física en estrella. Tiene bastantes ventajas significativas sobre otras topologías físicas, incluyendo:

- flexibilidad y capacidad para soportar muchas aplicaciones y todas las demás topologías lógicas
- localización centralizada de interconexión de fibra óptica, permitiendo un mantenimiento y una administración sencillos
- recomendado en el estándar EIA 568 para el cableado de edificios comerciales
- muchas conducciones y vías de conducción están a menudo configuradas en estrella
- expansión más sencilla del sistema

Dos desventajas de la configuración física en estrella incluyen:

- un corte de cable causa que el nodo o dispositivo conectado falle
- requiere más longitud de cable de fibra óptica que en el caso de una topología física en anillo

Las topologías token ring y FDDI para RAL son topologías lógicas en anillo, pero se implementan frecuentemente como estrellas físicas (ver Fig. 22.8). Una topología lógica en enlace común puede ser cableada como una topología física en estrella. El mejor ejemplo de esta configuración es la red Ethernet 10BaseT o 10BaseF. Ethernet es una topología lógica en enlace común, aunque la configuración del cableado de

\* Electronic Industries Association (EIA), 2001 Pennsylvania Avenue N.W., Washington, D.C.

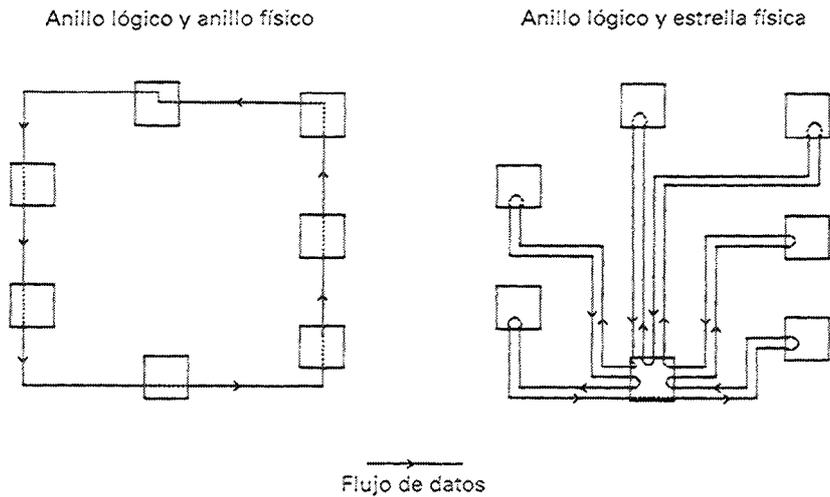


FIGURA 22.8. Anillo lógico implementado como estrella física.

10BaseT o 10BaseF es la de topología física en estrella (ver Fig. 22.9). El estándar 10BaseF (IEEE 802.3 FOIRL, estándar 10BaseFL)\* es la implementación para las fibras ópticas. El concentrador actúa como el equipo óptico, convirtiendo las señales eléctricas en señales de fibra óptica adecuadas para cada estación de trabajo.

Los sistemas de fibra óptica se implementan normalmente como topologías físicas tipo punto a punto, estrella o anillo. El tipo punto a punto es común en las aplicaciones modernas. La estrella y el anillo son comunes en redes RAL. La topología física en anillo se emplea cuando se requiere protección de red contra la eventualidad de un fallo en un nodo o cable.

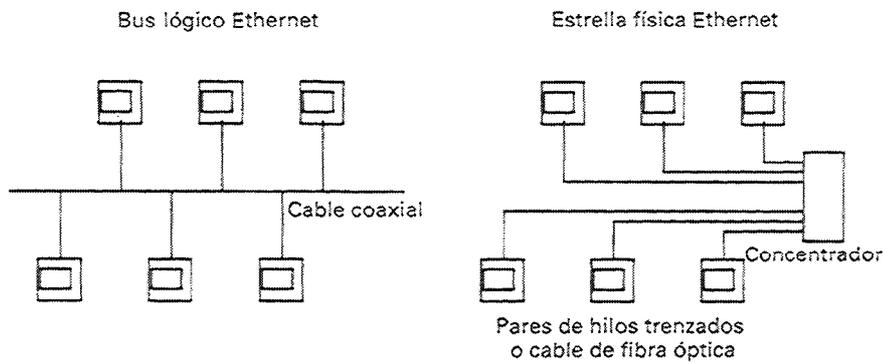


FIGURA 22.9. Topología lógica en enlace común como una estrella física.

\* Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. (IEEE), 445 Hoes Lane, P.O.Box 1331, Piscataway, NJ.



# Capítulo 23

## PERSONAL

---

Un aspecto a menudo pasado por alto en muchas implantaciones de sistemas es la necesidad de disponer de personal entrenado para instalar, operar y mantener el sistema de fibra óptica. Aunque el cable de fibra óptica puede parecer semejante al cable eléctrico, es muy diferente. Mucha gente cae en la trampa de «ofertar el enlace óptico de fibra» con conocimiento o no del asunto. Aunque esta alianza puede funcionar porque la fibra óptica es muy permisiva, pueden encontrarse muchos problemas durante y después de la instalación, y no se consigue desarrollar todo el potencial de la fibra.

El mejor camino para asegurarse de que el sistema está diseñado e instalado adecuadamente es emplear personal entrenado en este campo. Muchas compañías proporcionan la colaboración de sus expertos u ofrecen entrenamiento a los empleados. El mejor aprendizaje combina las clases teóricas de fibra óptica con la práctica, con sistemas de entrenamiento en la manipulación de las fibras ópticas. Lo práctico es la manipulación que incluye técnicas de medidas que utilizan generadores de luz y medidores de potencia, el pelado de cables de fibra óptica, la realización de los empalmes, la técnica de ensamblado de conectores y la limpieza de las fibras ópticas, todo ello combinado con conocimientos propios de seguridad. La teoría se tornarí práctica (a menos que se haya seguido un curso *in situ*) e incluiría transmisión por luz sobre fibras ópticas, componentes de fibra óptica, tipos de cables y aplicaciones, equipos de ensayo y procedimientos, manipulación de los cables, instalación, técnicas de mantenimiento y reparación, incluyendo siempre conceptos de seguridad. El entrenamiento se ofrece también a domicilio. Esto permite a los empleados el aprendizaje en su lugar de trabajo habitual y los familiariza con las fibras ópticas en su ambiente de trabajo.

Un buen curso práctico de introducción puede darse en un período de cuatro días completos de duración, con días adicionales requeridos para acomodar el entrenamiento práctico de cada estudiante. Es también recomendable que, para la primera instalación de fibra óptica, un supervisor reconocido esté presente en el lugar de traba-

jo para asegurar que se está realizando todo correctamente. Pueden cometerse errores fácilmente, que se remediarán inmediatamente sin excesivo gasto adicional.

El plan siguiente es un ejemplo típico de un curso básico de fibra óptica:

## Día 1

### Introducción a la Comunicación por Fibra Óptica

- Historia de la fibra óptica
- Ventajas e inconvenientes de la comunicación por fibra óptica
- Ejemplos prácticos de comunicación por fibra óptica
- Comunicación de datos, voz y vídeo a través de la fibra

### Introducción a la Fibra Óptica

- Espectro luminoso de la fibra óptica
- Técnicas de transmisión
- Señales analógicas, señales digitales

### Composición de la Fibra Óptica

- Diámetros de la fibra óptica
- Transmisión de luz por fibra
- Fibra multimodo
- Fibra de índice escalón
- Fibra de índice gradual
- Fibra monomodo
- Pérdida de potencia óptica
- Limitación del régimen de datos
- Ejemplo de fibra óptica

### Seguridad de la Fibra Óptica

- Precauciones de seguridad cuando se trabaja con fibra óptica

### Composición de un cable de fibra óptica

- Tubos de fibra de estructura holgada y de estructura ajustada
- Protecciones de cable
- Elementos para aumentar la resistencia física
- Inscripciones a lo largo de la fibra y tamaño del cable
- Especificaciones del cable
- Adquisición del cable

## Día 2

### Método de manejo del Cable de Fibra Óptica

- Radio de curvatura
- Tensión de tendido
- Cuidado general

### Instalación del Cable de Fibra Óptica en exteriores

- Instalación de canalizaciones interiores/exteriores
- Lubricación
- Guía de arrastre del cable

- Instalación del cable enterrado
- Técnica del tendido del cable
- Instalación aérea
- Instalación del Cable de Fibra Óptica en interiores
  - Emplazamiento de las canalizaciones
  - Valor nominal del código ignífugo
  - Instalación de conductos verticales
  - Localizaciones del equipamiento
- Técnicas de Empalme y Terminación
  - Cierres de los empalmes, soportes de los empalmes
  - Terminación del panel de interconexión
  - Empalmes de fusión y empalmes mecánicos
  - Instalación de conectores

### Día 3

- Verificación del Cable
  - Cables de interconexión y conectores
  - Técnicas de verificación con medidor de potencia y definición del dB
  - OTDR, localización de fallos
  - Procedimientos de verificación de la instalación
  - Criterios de aceptación
  - Verificación de la tasa de error de bit (BERT)
  - Verificación del umbral del receptor
- Integración del Sistema
  - Configuración del equipamiento
  - Sistema multiplexor
  - Sistema módem
  - Ethernet
  - FDDI
  - Generadores de luz
  - Amplificadores ópticos
  - Receptores
  - Procedimiento general de instalación
- Reparación y Mantenimiento
  - Mantenimiento
  - Reparación del cable
  - Registros
  - Resolución de problemas
  - Bases de diseño

### Día 4

- Entrenamientos manuales de cada estudiante
- Técnicas de verificación con medidor de potencia

Pelado del cable

Técnicas de empalmes mecánicos

Técnicas de Campo de Instalación de Conectores

Cada estudiante ensambla y verifica un corto enlace por cable de fibra óptica.

En un curso avanzado, se pueden introducir técnicas de empalmes por fusión y manejo del reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR).

# Apéndice A

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

---

- 802.3** Un protocolo de red de área local (RAL) que utiliza CSMA/CD para control de acceso al medio y una topología de bus definida en los Niveles 1 y 2 del modelo OSI.
- 802.4** Un protocolo de red de área local (RAL) conocido como bus de señal que utiliza un método de acceso de paso de señales y una topología de bus. Originaria de la General Motors y orientada al entorno de la fabricación, está definida en los Niveles 1 y 2 del modelo OSI.
- 802.5** Un protocolo de red de área local (RAL) conocido como anillo de señal que utiliza un método de acceso de paso de señal con prioridad y reserva, y topología en anillo de conexión en estrella. Originaria de IBM, está definida en los Niveles 1 y 2 del modelo OSI.
- Absorción (absorption)** La pérdida de potencia óptica, en una fibra, como resultado de la conversión de la luz en calor. Sus causas incluyen impurezas, migración de OH (procedente del agua), defectos y bandas de absorción.
- Acoplador (fibra óptica) (coupler)** Sistema que une entre sí los extremos de tres o más fibras ópticas de forma que una señal óptica pueda ser reconducida, o transmitida, de una fibra a dos o más fibras.
- Adaptador (adapter)** Un elemento mecánico utilizado para alinear y unir dos conectores de fibra óptica. También se le llama a veces receptáculo, acoplador o funda de interconexión.
- Adaptador de Fibra Desnuda (bare fiber adapter)** Es una conexión de fibra óptica diseñada para unir temporalmente una fibra óptica no terminada a un conector. Permite una verificación rápida de fibras no terminadas.
- ADM** Multiplicador de aumentos y caídas.
- Aislador (insulator)** Material que no conduce la electricidad en condiciones normales de trabajo.
- Analógico (analog)** Un formato de forma de onda continuo y uniforme, utilizado para representar infinitos niveles de la amplitud de una señal. Ver también *Digital*.
- Ancho de Banda (bandwidth)** Rango de frecuencias que la fibra óptica puede transportar con distorsión mínima. Es también la frecuencia a la cual la potencia óptica queda reducida a su 50 por 100 (-3 dB) como resultado de los efectos de dispersión de la fibra óptica y está expresada en megahercios × kilómetro (MHz × km). Indica la capacidad de información de una fibra óptica o de otros medios de transmisión.

**Ancho de Banda (de la fibra) (fiber bandwith)** Frecuencia de transmisión a la que la magnitud de la señal decrece a la mitad de su potencia óptica (-3 dB).

**Angstrom** Una unidad de longitud igual a  $10^{-10}$  m o 0,1 nm.

**Ángulo de aceptación (acceptance angle)** El ángulo dentro del cual toda la luz incidente es total e internamente reflejada por el núcleo de la fibra óptica. El ángulo de aceptación es igual al seno de la apertura numérica (AN) y es también conocido como el máximo ángulo de acoplamiento.

**Ángulo de Incidencia (angle of incidence)** El ángulo formado entre el rayo incidente y la normal a la superficie de contorno del medio.

**Ángulo de Reflexión (angle of reflection)** El ángulo formado entre el rayo reflejado y la normal a la superficie de contorno del medio.

**Ángulo de Refracción (angle of refraction)** El ángulo formado entre el rayo de luz refractado y la normal a la superficie de contorno del medio.

**ANSI** Instituto Nacional Americano de Estándares.

**APD** Fotodiodo de avalancha. Un diodo utilizado para detectar cantidades muy pequeñas de luz.

**Apertura Numérica (AN) (numerical aperture)** Seno del ángulo máximo que puede formar el rayo incidente con el eje de simetría a la entrada de una fibra óptica, para que ésta lo acepte y se pueda propagar a su través. Es una medida de la propiedad de aceptación de la luz de una fibra óptica.

**Arámidas (Hebras) (Aramid yarn)** Material ligero, normalmente amarillo o naranja, que proporciona fortaleza y soporte a los mazos de fibra en el cable. El Kevlar es un tipo de hebras de arámida que posee una resistencia mecánica muy elevada.

**Armadura (armor)** Protección adicional entre las capas del recubrimiento del cable, que está compuesta generalmente de acero corrugado.

**Asíncrono (asynchronous)** Una señal que no está sincronizada con el reloj de la red.

**Atenuación, Fibra Óptica (attenuation)** Disminución de luz en una fibra óptica. Se expresa generalmente sin su signo negativo en dB o dB/km. Cuando se especifica la atenuación, es muy importante indicar la longitud de onda utilizada. La atenuación en una fibra óptica es diferente para distintas longitudes de onda.

**Atenuador, Óptico (attenuator)** Elemento que reduce la intensidad del haz de luz. Usualmente se inserta en el punto de conexión.

**ATM** Modo de transferencia asíncrona. Un protocolo estándar de comunicación que utiliza paquetes de 53 bits y que se encuentra definido en el Nivel 2 (datos del enlace) del modelo OSI.

**Banda ancha (broadband)** Régimen de datos igual o superior a 45 Mbps (o DS3).

**Baudios (régimen de) (baud rate)** Número de transiciones eléctricas por segundo de las señales digitales transmitidas. No es lo mismo que régimen de datos. Un módem puede tener un régimen de transmisión de datos más elevado que su régimen de baudios.

**Bellcore** Investigación de Comunicaciones Bell. Una organización de investigación y desarrollo, propiedad de varias compañías operativas de American Bell que desarrollan estándares de comunicaciones.

**BER (Tasa de Error de Bit) (bit error rate)** Relación de bits recibidos con error respecto a los bits enviados. Es normal un BER de  $10^{-9}$  (un bit de error recibido sobre mil millones de bits enviados).

**BERT (Verificador de Tasa de Error de Bit) (bit error rate tester)** Instrumento que mide el total de bits transmitidos incorrectamente por un sistema de comunicación digital.

**Bit** Un dígito binario.

**bps** Bits por segundo.

**Brouter** Dispositivo comercial que actúa como puente y enrutador.

**Bucles de corrientes de tierra (ground loop currents)** Bucles de corrientes de tierra que causan interferencias; se generan normalmente cuando las tierras se conectan a más de un punto diferente.

- Buffer (Protección primaria)** Cubierta protectora de plástico o de otro material, comúnmente codificado mediante colores, que recubre las fibras ópticas. Un buffer puede ir ajustado, como en el caso de un cable adherido directamente al recubrimiento de la fibra óptica, o puede ir flojo, como en un entubado de cable, donde una o más fibras entrelazadas van holgadas por el interior del tubo buffer. El buffer debe ser pelado para efectuar los cortes de la fibra y sus empalmes.
- Byte** Ocho dígitos binarios (bits) adyacentes.
- Cable de estructura ajustada** Cable de fibra óptica en el que cada fibra tiene 900 mm de recubrimiento de plástico.
- Cableados interiores (intra-building cabling)** Cableado dentro de los edificios.
- CAD** Diseño asistido por ordenador.
- Caja de empalmes** Recinto cerrado para albergar los empalmes de la fibra óptica y las bandejas de empalmes.
- Caja de tendido** Cierre colocado en un conducto o en una canalización para permitir el acceso al cable durante las operaciones de tendido, instalación o de sustitución del mismo.
- CAM** Fabricación asistida por ordenador.
- Canal (channel)** Ruta de comunicación utilizada normalmente en duplex total (full-duplex).
- Canalizado vertical (Riser)** Conducto vertical o espacio entre pisos de un edificio, utilizado para el enrutamiento de los cables. También se denomina así al código de resistencia al fuego de los cables.
- CATV** Sistema de antenas de televisión de una residencia comunitaria, también conocida como sistema de televisión por cable.
- CCITT** Comité Consultivo Internacional de Teléfonos y Telégrafos. Es un comité internacional que desarrolla y recomienda los estándares de telecomunicaciones.
- CCTV** Circuito cerrado de televisión.
- CDDI** Interface de Distribución de Datos por conductores de Cobre. Es un protocolo estándar similar al FDDI, pero que utiliza pares de conductores trenzados no apantallados, o también pares trenzados apantallados, para proporcionar comunicaciones de datos de hasta 100 Mbps.
- Codec** Dispositivo que convierte las señales analógicas en digitales y viceversa.
- Columna vertebral de cableado (backbone cabling)** Porción de cableado de telecomunicaciones que conecta con los recintos, salas de equipos, edificios o ciudades. Es un medio de transmisión (normalmente fibra óptica) que proporciona una conexión rápida a las numerosas instalaciones distribuidas. Puede clasificarse posteriormente en columna vertebral de cableado entre edificios o en interiores.
- Concentrador (concentrator)** Dispositivo electrónico utilizado en las redes RAL y que permite a varias estaciones conectarse a una única línea principal de datos.
- Conducto (conduit)** Tubería o tubo por donde se encierran los cables.
- Conductor** Material que permite el paso de la corriente eléctrica.
- Conector (fibra óptica) (connector)** Dispositivo que une dos fibras ópticas, de manera repetible y con bajas pérdidas ópticas de conexión.
- Conexión cruzada (óptica) (cross-connect)** Con las fibras ópticas, un panel de conexiones se utiliza para hacer conexiones cruzadas.
- Controlador de grupo (cluster controller)** Unidad de control de IBM modelos 3174, 3274 y otros, que puede servir simultáneamente a los IBM 3178, 3278 y a otros terminales.
- Cordones de conexión** Pequeños trozos de fibra óptica, de diámetros pequeños y manejables, que portan conectores en ambos extremos. Pueden utilizarse para conectar equipos entre sí, conectar un equipo a un panel de conexiones o efectuar puentes sobre estos paneles.
- Corriente de oscuridad (dark current)** Corriente que circula por el fotodetector cuando no recibe luz.
- Corta-Fibras (Cleaver)** Instrumento para cortar las fibras ópticas de modo que sus extremos puedan ser unidos entre sí con bajas pérdidas.

- CRC** Ensayo cíclico de redundancia. Método de ensayo matemático para determinar la integridad de un paquete de datos.
- Crítico (ángulo) (critical angle)** El menor ángulo bajo el cual un rayo de luz meridional puede ser totalmente reflejado en el núcleo de la fibra óptica.
- CSA** Asociación de Estándares Canadienses.
- CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection)** Acceso Múltiple por detección de portadora/con detección de colisiones. Protocolo de acceso utilizado por Ethernet/802.3.
- CSU** Unidad de canal de servicio. Sistema que permite funciones de ensayo sobre un canal tal como el del lazo cerrado de retorno.
- dB** Decibelio. Medida logarítmica de la potencia óptica.
- dBm** Decibelio referido a un miliwatio:  $\text{dBm} = 10 \log (\text{salida potencia miliwatios}/1 \text{ miliwatio})$ .
- DCE** Equipo de Comunicación de Datos. Equipo de comunicación utilizado como interfaz para un canal de comunicación de otro equipo terminal de datos (DTE), tal como un módem.
- Dieléctrico (dielectric)** Material que no conduce la electricidad (aislador).
- Digital** Formato de onda de datos que sólo tiene dos niveles físicos, correspondientes a los ceros y a los unos. Ver también *Analógico*.
- Dispersión (dispersion)** Distorsión de un pulso de luz originada por las características de propagación a diferentes longitudes de onda y por los distintos caminos que sigue cada modo.
- Dispersión Desplazada (Fibra) (dispersion shift)** Fibra óptica que está optimizada para obtener una dispersión mínima a 1.310 nm o a 1.550 nm.
- Dispersión Plana (Fibra) (dispersion flattened)** Fibra óptica que está optimizada para obtener una dispersión mínima tanto a 1.310 nm como a 1.550 nm.
- División Multiplexada de Longitudes de Onda** Combinación de dos o más señales ópticas de diferentes longitudes de onda.
- DNA** Red de Arquitectura Digital.
- Doble Ventana (Fibra) (double window)** Fibra destinada a operar en dos longitudes de onda diferentes.
- DS0 (digital signal level 0)** Señal Digital de Nivel 0. Canal de comunicación digital que trabaja a 64 kbps. Veinticuatro canales DS0 configuran un canal DS1 (T1).
- DS1 (digital signal level 1)** Señal Digital de Nivel 1. Canal de comunicación digital que trabaja a 1.544 Mbps. Régimen T1.
- DS2 (digital signal level 2)** Señal Digital de Nivel 2. Canal de comunicación digital que trabaja a 6.312 Mbps. Régimen T2.
- DS3 (digital signal level 3)** Señal Digital de Nivel 3. Canal de comunicación digital que trabaja a 44.736 Mbps. Está formado por 28 DS1.
- DSU (digital service unit)** Unidad de Servicio Digital. Dispositivo físico que proporciona funciones de ensayo y monitorizado de canales digitales.
- DTE (data terminal equipment)** Equipo terminal de Datos. Equipo terminal de usuario tal como un ordenador, terminal o estación de trabajo.
- DTMF (dual tone multiple frequency)** Doble Tono de Multifrecuencia, también conocido como teclas sonoras. Conjunto de frecuencias de audio utilizado en la señalización telefónica. Su utilización se ha extendido a los aparatos telefónicos.
- E1** Estándar de datos de comunicación europeo a un régimen de 2.048 Mbps, que es capaz de transportar treinta canales de 64 kbps.
- E3** Estándar de datos de comunicación europeo a un régimen de 34.368 Mbps, que puede soportar dieciséis canales E1.
- EIA (electronic industries association)** Asociación de Industrias Electrónicas.
- EMI (electromagnetic interference)** Interferencia electromagnética.
- Empalme** Unión permanente entre dos fibras originada por la fusión de sus extremos o por el método de unión mecánica.

- Enrutador** Es un sistema RAL que opera en el modelo OSI de red y se utiliza para interconectar dos RAL distintas o dos redes entre sí.
- Equipo óptico (lightwave equipment)** Cualquier equipo electrónico de comunicaciones utilizado para comunicaciones mediante fibra óptica; también se conocen como equipos terminales ópticos o módems ópticos.
- Escala de ensayos a la llama (FT 1, 4, 6) (flame-test rating)** Escala canadiense de ensayos de resistencia al fuego establecido para cables por la Asociación Canadiense de Estándares.
- Espectral (Anchura)** Espectro de frecuencias en las cuales la intensidad de la luz es mayor que la mitad de la intensidad de pico.
- Ethernet** Tecnología 802.3 RAL que utiliza CSMA/CD como método de acceso y topología de bus.
- Expansión (Lazo de) (expansion loop)** Lazo efectuado con un cable suspendido a fin de compensar la expansión y/o la contracción del elemento de soporte o del propio cable.
- FDDI** Interfaz de datos distribuidos por fibra. Es una tecnología para redes de fibra óptica particularmente adaptada para el tráfico de densidad de datos muy elevada. Utiliza el método de paso de señal y la topología de anillo dual rotatorio inverso a una velocidad de 100 Mbps.
- Férula (ferrule)** Porción rígida del centro de un conector de fibra óptica, que usualmente suele ser de acero o cerámico.
- Fibra de índice de salto** Fibra óptica en la que el núcleo tiene un índice de refracción constante.
- Fibra de índice gradual (graded index fiber)** Fibra óptica en la que el índice de refracción del núcleo decrece gradualmente a medida que nos desplazamos hacia su revestimiento.
- Fibra monomodo** Fibra que transporta solamente un modo de luz. Sólo se propaga por un camino de luz.
- Fibra oscura (dark fiber)** Fibras ópticas, en un cable, que no están conectadas a un módulo (frecuentemente las fibras libres sobrantes). Estas fibras son ofrecidas por algunos distribuidores para permitir al usuario la instalación de su propio equipamiento de transmisión óptica.
- Fibras (Número) (fiber count)** Número de fibras ópticas entre dos ubicaciones. También se refiere al número de fibras ópticas que contiene un cable simple.
- Fibras Ópticas (fiber optics)** Transmisión de luz a través de fibras ópticas para comunicaciones y señalización.
- Fluido adaptador de índice (index matching fluid)** Líquido o gel con un índice de refracción adecuado que adapta ópticamente el núcleo de la fibra.
- FOT** Terminal de Fibra Óptica.
- Fotodetector** Dispositivo que convierte la energía luminosa en energía eléctrica. Los fotodiodos habitualmente utilizados con las fibras ópticas son de silicio.
- Frecuencia (frequency)** Número de repeticiones de un evento periódico por unidad de tiempo. Las unidades utilizadas son los hercios (Hz).
- Fresnel (Reflexión de) (Fresnel reflection)** Reflexión de una porción de luz en la superficie límite entre dos materiales que tienen índices de refracción diferentes.
- FT1** Fraccionado de T1. Fraccionado de los 24 canales completos de una portadora T1.
- FTTC** Fibra hasta el bordillo. Arquitectura de fibra óptica en la que los componentes son alineados a lo largo del camino hasta la casa del cliente, pero que se detiene en la entrada a la casa. A partir del bordillo, se utilizan pares de cobre trenzados o cable coaxial para introducir la señal dentro del edificio.
- FTTH** Fibra instalada hasta el interior de la vivienda. Arquitectura de fibra óptica donde se ha alcanzado directamente el interior del domicilio del usuario.
- Full Duplex** Posibilidad de transmitir y recibir las señales al mismo tiempo.
- Funda (jacket)** Recubrimiento exterior de un hilo conductor o de un cable.
- Fusión (Empalme por) (fusion splice)** Unión permanente de dos fibras ópticas realizada mediante fusión de sus correspondientes extremos.

**FWHM (Ancho total a mitad de amplitud) (full-width half maximum)** Es la anchura espectral en nanómetros (nm) de un generador óptico a un nivel de potencia igual a la mitad de la potencia óptica de pico.

**giga-** Prefijo que significa mil millones ( $10^9$ ).

**Half Duplex (Semiduplex)** Método de comunicación en el que un extremo del enlace debe esperar a que se complete la transmisión desde el extremo opuesto antes de enviar la suya, y viceversa; la transmisión y la recepción deben alternarse en la comunicación y no pueden tener lugar al mismo tiempo.

**HDTV (high definition television)** Televisión de Alta Definición.

**Hercio (Hz) (hertz)** Un ciclo por segundo.

**HFC (Fibras/Coax híbridos) (hybrid fiber/coax)** Cable que contiene tanto fibra óptica como cable coaxial.

**Horizontal (Cableado) (horizontal cabling)** Parte del cable que conecta cabinas de telecomunicaciones con las salidas de áreas de trabajo de telecomunicación.

**Hub** Sistema de comunicación que utiliza la topología de un patrón de cableado en estrella; comúnmente utilizado en las RAL.

**IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**Impedancia (impedance)** Oposición total que ofrece un circuito eléctrico a la circulación de corriente alterna y que incluye tanto resistencia como reactancia.

**Índice de Refracción (index of refraction)** Relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en el seno de otro material. Aire  $n = 1.003$ ; vidrio  $n = 1.4$  a  $1.6$ . El valor de  $n$  varía ligeramente para diferentes longitudes de onda.

**Inserción (Pérdidas) (insertion loss)** Pérdida de potencia óptica debida a la inserción de componentes como conectores, empalmes o atenuadores.

**Interconexión entre Edificios (interbuilding cabling)** Cableado entre edificios.

**Interconexión Intermedia (IC) (intermediate cross-connect)** Conexiones secundarias del cableado general que proporcionan las salidas hacia las cabinas de equipos de telecomunicaciones.

**ISO (International Organization for Standards)** Organización Internacional de Estándares.

**kilo-** Prefijo que significa mil ( $10^3$ )

**Láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)** Acrónimo que corresponde a «amplificación de luz mediante emisión estimulada de radiación». Un aparato que produce luz mediante un método de estimulación de la emisión, con un estrecho rango de longitudes de ondas, que son emitidas por un haz coherente direccional. La mayoría de láseres para fibra óptica son elementos de estado sólido.

**Latiguillo** Trozo corto de fibra óptica cubierta que lleva un conector en un solo extremo. Se utiliza en las terminaciones de las fibras de un cable.

**Latiguillo (cord)** Trozo corto de cable flexible que se usa para conectar equipos.

**LED (Light-Emitting Diode)** Acrónimo que corresponde a «diodo emisor de luz». Elemento semiconductor que produce luz coherente cuando es atravesado por una corriente eléctrica.

**Longitud de onda de corte (cutoff wavelength)** Longitud de onda más corta que se propagará por una fibra; especificada en fibras monomodo.

**Luz, Fibra Óptica (light)** Espectro de luz a 850 nm, 1.310 nm o 1.550 nm de longitud de onda.

**M13** Multiplexor DS1 a DS3.

**Máximo Ángulo de Acoplamiento (maximum coupling angle)** Ángulo bajo el cual toda la luz incidente es reflejada totalmente hacia el interior por el núcleo de la fibra óptica. El máximo ángulo de acoplamiento es igual a  $\arcsen(AN)$ .

**MC (Main Cross-Connect o Conector Principal derivador)** Es la columna vertebral de cableado utilizada para proporcionar posibles interconexiones intermedias.

- Mecánico (Empalme) (mechanical splice)** Pequeño sistema que une y asegura que dos fibras permanezcan juntas mediante un procedimiento mecánico.
- mega-** Prefijo que significa un millón ( $10^6$ ).
- Mezclador de Modos (mode scrambler)** Sistema que origina la mezcla de modos en una fibra.
- MFD (Diámetro del Campo Modal) (mode field diameter)** Diámetro del círculo de luz de una fibra monomodo. Usualmente no tiene el mismo diámetro que el núcleo.
- micro-** Prefijo que significa una millonésima ( $10^{-6}$ ).
- Microcurvaturas (Pérdidas) (microbending loss)** Pérdidas en una fibra originadas por curvaturas agudas del núcleo con desplazamientos de unas pocas micras. Tales dobleces pueden estar causados por la protección primaria, funda, empaquetado, instalación y otros. Las pérdidas pueden llegar a ser importantes al aumentar la distancia.
- mili-** Prefijo que significa una milésima ( $10^{-3}$ ).
- Modal (Dispersión) (modal dispersion)** Ver dispersión *Multimodo*.
- Módem** Aparato electrónico que convierte una forma de señal en otra diferente utilizando una técnica de modulación. Un módem óptico convierte la señal eléctrica en señal óptica y viceversa.
- Modo (mode)** Onda simple electromagnética de luz que satisface las ecuaciones de Maxwell y las condiciones de contorno impuestas por la fibra. Se puede considerar simplemente como el camino de un rayo de luz por el interior de una fibra.
- Modulación (modulation)** Alteración de la onda portadora de forma que pueda transportar otra señal de información. La modulación óptica involucra la alteración de la amplitud o la frecuencia para trasladar la señal de información.
- Multimodal o Multimodo (Dispersión) (multimode dispersion)** Distorsión de la señal de luz originada por la propagación de rayos de luz a lo largo de diferentes caminos de la fibra, llegando a su destino, consecuentemente, en tiempos diferentes.
- Multimodo (Fibra) (multimode fiber)** Fibra que propaga más de un modo de luz.
- Multiplexor (multiplexer)** Aparato electrónico que combina dos o más canales de comunicación sobre otro canal agregado. Puede clasificarse además como multiplexor en el dominio del tiempo o de la frecuencia.
- nano-** Prefijo que significa una milmillonésima parte ( $10^{-9}$ ).
- NEC (National Electrical Code)** Código Eléctrico Nacional.
- NEMA (National Electrical Manufacturers Association)** Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
- NRZ (Sin Retorno a Cero) (non return to zero)** Código digital en el que el nivel de la señal está alto para un bit 1, bajo para un bit 0 y no retorna a nivel bajo para sucesivos bits 1.
- Núcleo (core)** Parte interna de una fibra óptica que transporta la luz. La luz permanece dentro del núcleo debido a la diferencia entre los índices de refracción entre dicho núcleo y su revestimiento.
- OC-1 a OC-48** Canales de Protocolo para Sonet. Rango de regímenes desde 51.84 Mbps para OC-1 hasta 2.488 Gbps para OC-48. Definido en el Nivel físico 1 del modelo OSI.
- Oficina central (central office)** Oficina de una compañía de teléfonos local que contiene la conmutación de los terminales de sus asociados.
- Ohmio (ohm)** Unidad de resistencia eléctrica.
- Óptica (Fibra) (optical fiber)** Elemento simple de transmisión óptica que está formado por un núcleo, un revestimiento y un recubrimiento.
- Ópticas (Pérdidas)** Reducción de potencia óptica de una fibra debido al material de su composición.
- Óptico (Generador)** Unidad electrónica que convierte señales eléctricas en sus correspondientes señales ópticas para ser transmitidas por una fibra óptica.
- Óptico (Margen)** Pérdidas adicionales permitidas además de todas las pérdidas del enlace óptico de fibra.

**OSI (Modelo) (Open Systems Interconnection)** Sistema de Interconexión Abierta (OSI) con modelo de protocolo de siete niveles desarrollado por la Asociación Internacional de Estándares.

**OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)** Un reflectómetro óptico con base de dominio en el tiempo es un instrumento de ensayos que envía cortos impulsos de luz a través de una fibra óptica a fin de determinar sus características, atenuación y longitud.

**Paquete** Grupo de datos que posee encabezamiento de dirección e información de control.

**PBX (Private Branch Exchange)** Central Telefónica Privada.

**Pérdidas de Retorno** Cantidad de luz de una fibra óptica que retorna hacia el generador, por reflexión.

**pico-** Prefijo que significa una billonésima parte ( $10^{-12}$ )

**PLC (Programmable Logic Controller)** Controlador lógico programable.

**Plenum (Cámara de sobrepresión)** Espacio que suele encontrarse a lo largo del sobretecho de un recinto o por debajo de su suelo a fin de que circule el aire de ventilación. También se denomina así al código de colores de la escala de valores de resistencia al fuego de un cable.

**Polietileno** Material termoplástico utilizado a menudo para el recubrimiento de los cables.

**POP** Punto de presencia. Localización física donde una portadora proporciona servicio a un usuario.

**POTS** Sistema de teléfono antiguo. Conexión telefónica de timbre con bucle de dos hilos con teclado sonoro o señalización de pulsos.

**Protocolo** Conjunto de reglas que harán posible la comunicación de datos

**Puente (bridge)** Interconecta dos o más redes RAL similares en el Nivel 2 del modelo OSI.

**Radio de curvado no soportado** Radio de un conducto o canalización en el que no existen soportes continuos alrededor de su curvatura.

**Radio de Curvatura Mínimo (minimum bend radius)** Radio mínimo con el que puede doblarse un cable de fibra óptica o una fibra óptica sin originar efectos adversos en las características de los cables o de las fibras.

**RAE (WAN)** Red de área extensa. Red que se extiende entre ciudades diferentes.

**RAL (LAN)** Red de área local. Una red en un área local, tal como un único gran edificio.

**RAM (MAN)** Área de red metropolitana. Red que conecta múltiples lugares dentro de un área geográfica determinada

**Rango Dinámico Óptico (optical dynamic range)** El rango dinámico de un receptor es la ventana de nivel de luz en dBm dentro de la cual el receptor puede admitir potencia óptica.

**Rayleigh (Difusión)** Difusión de la luz (o pérdida de luz) debida a la variación de la densidad del medio óptico, composición y estructura molecular.

**Rayo de luz (light ray)** Dirección de las ondas de luz viajando.

**Receptor Óptico** Unidad electrónica que convierte las señales de luz en señales eléctricas.

**Recubrimiento (coating)** Capa fina de plástico o de otro material, usualmente de un diámetro de 250 o 500 nm, codificado con colores, que a su vez cubre el revestimiento de la fibra. La mayoría de las fibras poseen un recubrimiento que debe ser desgarrado y suprimido para efectuar el corte y unión de una fibra.

**Reflexión** Reflexión de un rayo de luz en la interfaz de dos medios diferentes hacia el primer medio.

**Refracción** Cambio de dirección y velocidad de un rayo de luz en la interfaz de dos medios diferentes.

**Régimen de Datos (data rate)** Número de bits de información que pueden ser transmitidos por segundo. Expresados en Gbps, Mbps, kbps o bps.

**Repetidor** Sistema que repite y regenera la señal.

**Revestimiento (Cladding)** Capa de cristal o de otro material con un índice de refracción bajo que cubre al núcleo de la fibra, que consigue que la luz permanezca confinada dentro de dicho núcleo.



- RZ (Retorno a Cero)** Código digital en el que el nivel de la señal está alto para un bit 1 en la primera mitad del intervalo del bit y entonces pasa a bajo para la segunda mitad de dicho intervalo de bit. El nivel permanece bajo para todo el intervalo de un bit 0.
- Salida (de Telecomunicación)** Dispositivo terminal de cableado horizontal localizado en un área de trabajo utilizado para conectar equipos tales como ordenadores.
- Sensibilidad** Mínima cantidad de potencia óptica que un equipo óptico necesita recibir para poder manejar señales de transmisión de acuerdo a las especificaciones del equipo.
- Síncrona (Transmisión)** Protocolo de datos de comunicaciones mediante el cual dichos datos están siendo enviados continuamente
- Síncrona** Señal que está sincronizada con el reloj de la red.
- SNA** Arquitectura de Sistemas de Redes. Arquitectura de datos de comunicación de IBM de siete niveles.
- Sonet** Red óptica síncrona. Protocolo estándar de comunicación sobre fibra óptica definido en el Nivel 1 (nivel físico) del modelo OSI.
- Soporte (Radio de)** Radio de un conducto o canalización curvado que está enteramente montado alrededor de una curva.
- Soporte de apoyo de conductores** Conducto de cables que se extiende longitudinalmente. Esto permite la colocación del cable sin proceder a arrastrarlo por el interior del conducto.
- STP (shielded twister-pair wire)** Par trenzado de hilos conductores, apantallado.
- Stratum** Reloj de referencia primario utilizado para la sincronización de una red.
- TI** Enlace de comunicaciones a un régimen de 1,544 Mbps que tiene 24 canales.
- TC (Cierre cables Telecomunicación)** Instalación que proporciona la conexión entre la columna vertebral de cables y el cableado horizontal.
- Tensión de Tracción** Tensión de arrastre mecánico a la que se somete a un cable durante las operaciones de instalación.
- Tierra o Masa (ground)** Punto común de retorno a tierra de la corriente eléctrica, usualmente mediante un conductor metálico.
- Total (Dispersión)** Suma total de la dispersión cromática y modal.
- Total (Reflexión Interna)** Toda luz que incide en la superficie entre dos medios es reflejada hacia atrás hasta el primer medio.
- Transmisor Óptico** Unidad electrónica que convierte las señales eléctricas en señales ópticas.
- UL** Laboratorios Subscritos.
- UTP (unshielded twister-pair wire)** Pares de hilos trenzados sin blindar o apantallar.
- Velocidad de la Luz**  $2,998 \times 10^8$  metros por segundo en el absoluto vacío, pero menos en cualquier otro material.
- Zona muerta de fibra (dead zone fiber)** Un tramo de fibra óptica (generalmente de 1 km) conectado entre el OTDR y la instalación de fibra, utilizado para desplazar la traza del OTDR procedente de la instalación con objeto de salirse de la zona muerta de los medidores OTDR.



# Apéndice B

## UNIDADES

---

### Constantes físicas

Velocidad de la luz en el vacío	$c = 2,998 \times 10^8$ m/s
Constante de Planck	$h = 6,63 \times 10^{-34}$ julios $\times$ s
Constante de Boltzmann	$k = 1,38 \times 10^{-23}$ julios/kg
Carga del electrón	$e = -1,6 \times 10^{-19}$ C

### Prefijo utilizado para indicar múltiplos

Prefijo	Factor	Símbolo
exa-	$10^{18}$	E
peta-	$10^{15}$	P
tera-	$10^{12}$	T
giga-	$10^9$	G
mega-	$10^6$	M
kilo-	$10^3$	k
hecto-	$10^2$	h
deca-	10	da
deci-	$10^{-1}$	d
centi-	$10^{-2}$	c
mili-	$10^{-3}$	m
micro-	$10^{-6}$	$\mu$
nano-	$10^{-9}$	n
pico-	$10^{-12}$	p
femto-	$10^{-15}$	f
atto-	$10^{-18}$	a

**Unidades**

Unidad	Símbolo	Medida
metro	m	longitud
gramo	g	masa
voltio	V	voltaje
ohmio	$\Omega$	resistencia
amperio	A	corriente
columbio	C	carga
watio	W	potencia
julio	J	energía
faradio	F	capacidad
segundo	s	tiempo
Celsius	$^{\circ}\text{C}$	temperatura
kelvin	K	temperatura
bit	b	pulso
byte	b	8 bits
segundo	s	tiempo
hercio	Hz	frecuencia
decibelio (mW)	dBm	potencia

**Velocidades de transmisión digital**

Designación	Régimen de datos	Canales de voz (64 kbps)
DS0	64 kbps	1
FT1	(1 a 24) $\times$ 64 kbps	1 a 24
T1-DS1	1,544 Mbps	24
T2-DS2	6,312 Mbps	96
T3-DS3	44,736 Mbps	672
T4-DS4	274,175 Mbps	4.032

**Régimen de transmisión Sonet**

Designación	Régimen de datos	Canales de voz (64 kbps)
OC-1	51,84 Mbps	672
OC-3	155,52 Mbps	2.016
OC-12	622,08 Mbps	8.064
OC-24	1.244,16 Mbps	16.128
OC-48	2.488,32 Mbps	32.256

# Apéndice C

## CÓDIGOS DE COLOR DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

---

### Código de color estándar EIA/TIA 598

Número de la fibra	Color del tubo	Color de la fibra
1	Azul	Azul
2	Azul	Naranja
3	Azul	Verde
4	Azul	Marrón
5	Azul	Teja
6	Azul	Blanco
7	Azul	Rojo
8	Azul	Negro
9	Azul	Amarillo
10	Azul	Violeta
11	Azul	Rosa
12	Azul	Agua
13	Naranja	Azul
14	Naranja	Naranja
15	Naranja	Verde
16	Naranja	Marrón
17	Naranja	Teja
18	Naranja	Blanco
19	Naranja	Rojo
20	Naranja	Negro
21	Naranja	Amarillo
22	Naranja	Violeta
23	Naranja	Rosa
24	Naranja	Agua
25	Verde	Azul

Número de la fibra	Color del tubo	Color de la fibra
26	Verde	Naranja
27	Verde	Verde
28	Verde	Marrón
29	Verde	Teja
30	Verde	Blanco
31	Verde	Rojo
32	Verde	Negro

*Fuente:* Electronic Industries Association, 2001  
 Pennsylvania Ave., NW, Washington D.C.

#### Otros códigos comunes de color

##### Fabricante de cable A

Número de la fibra	Color del tubo	Color de la fibra
1	Negro	Azul
2	Negro	Naranja
3	Negro	Verde
4	Negro	Marrón
5	Negro	Teja
6	Negro	Blanco
7	Rojo	Azul
8	Rojo	Naranja
9	Rojo	Verde
10	Rojo	Marrón
11	Rojo	Teja
12	Rojo	Blanco
13	Amarillo	Azul
14	Amarillo	Naranja
15	Amarillo	Verde
16	Amarillo	Marrón
17	Amarillo	Teja
18	Amarillo	Blanco
19	Violeta	Azul
20	Violeta	Naranja
21	Violeta	Verde
22	Violeta	Marrón
23	Violeta	Teja
24	Violeta	Blanco

##### Fabricante de cable B

Número de la fibra	Color del tubo	Color de la fibra
1	Rojo	Marrón
2	Rojo	Azul

Número de la fibra	Color del tubo	Color de la fibra
3	Rojo	Naranja
4	Rojo	Bianco
5	Rojo	Teja
6	Rojo	Verde
7	Negro	Marrón
8	Negro	Azul
9	Negro	Naranja
10	Negro	Bianco
11	Negro	Teja
12	Negro	Verde
13	Amarillo	Marrón
14	Amarillo	Azul
15	Amarillo	Naranja
16	Amarillo	Bianco
17	Amarillo	Teja
18	Amarillo	Verde
19	Verde	Marrón
20	Verde	Azul
21	Verde	Naranja
22	Verde	Bianco
23	Verde	Teja
24	Verde	Verde

## Fabricante de cable C

Número de la fibra	Color del tubo	Color de la fibra
1	Azul	Azul
2	Azul	Naranja
3	Azul	Verde
4	Azul	Marrón
5	Azul	Teja
6	Azul	Bianco
7	Naranja	Azul
8	Naranja	Naranja
9	Naranja	Verde
10	Naranja	Marrón
11	Naranja	Teja
12	Naranja	Bianco
13	Verde	Azul
14	Verde	Naranja
15	Verde	Verde
16	Verde	Marrón
17	Verde	Teja
18	Verde	Bianco



# Apéndice **D**

## **REGISTROS DE FIBRA ÓPTICA**

---

**Resultados de las pruebas de atenuación de la fibra óptica**

Fecha ..... Probadó por .....  
 Localización del cable ..... Longitud del cable (OTDR) ..... (Física) ..... Factor .....  
 Localización A ..... Tipo de fibra .....  
 Localización B ..... Fabricante del cable .....

Color de la fibra Color del manojo/ color de la fibra	Longitud de onda del ensayo ..... nm			Longitud de onda del ensayo ..... nm		
	Medidas del OTDR			Medidas del OTDR		
	Pérdidas localización A (dB)	Pérdidas localización B (dB)	Promedio pérdidas (dB) (A + B)/2	Pérdidas localización A (dB)	Pérdidas localización B (dB)	Promedio pérdidas (dB) (A + B)/2
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						
16.						







**Diseño del enlace óptico**

Diámetro de la fibra óptica: Núcleo \_\_\_\_\_  $\mu\text{m}$ /Revestimiento \_\_\_\_\_  $\mu\text{m}$

Apertura numérica de la fibra óptica (AN): \_\_\_\_\_

Longitud de onda del equipo óptico: \_\_\_\_\_ nm

- a. Pérdidas de la fibra óptica a la longitud de onda de trabajo: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ km longitud a \_\_\_\_\_ dB/km \_\_\_\_\_ dB
- b. Pérdidas por empalme:  
 \_\_\_\_\_ empalmes  $\times$  \_\_\_\_\_ dB/empalme \_\_\_\_\_ dB
- c. Pérdidas por conexión:  
 \_\_\_\_\_ conexiones  $\times$  \_\_\_\_\_ dB/conexión \_\_\_\_\_ dB
- d. Otros componentes de pérdidas: \_\_\_\_\_ dB
- e. Margen de diseño: \_\_\_\_\_ dB  
 \_\_\_\_\_
- f. **Pérdidas totales del enlace** \_\_\_\_\_ **dB**  
 (a + b + c + d + e)
- g. Potencia de salida promedio del transmisor \_\_\_\_\_ dBm
- h. **Potencia de entrada del receptor** \_\_\_\_\_ **dBm**  
 (g - f)
- i. Rango dinámico del receptor \_\_\_\_\_ dBm a \_\_\_\_\_ dBm
- j. Sensibilidad del receptor para (BER o S/N) \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ dBm
- k. **Margen restante:** \_\_\_\_\_ **dB**  
 (h - j)

*Notas:*

1. El margen restante, línea k, debe ser mayor que cero para un diseño apropiado del sistema.
2. En la línea c, excluir las pérdidas por conexión de la fibra óptica al equipamiento óptico.
3. La potencia de entrada del receptor, línea c, debe estar dentro del rango dinámico del receptor, línea i, par un funcionamiento correcto.

# Apéndice E

## GUÍA DE INSTALADORES DE FIBRA ÓPTICA (ESPAÑA)

---

### **ADATEL, S.A.**

Llodio, 4  
28034 Madrid  
Tel.: (91) 358 50 00  
Fax: (91) 358 30 30

Dolores Almeda, 1  
38094 Cornellá (Barcelona)  
Tel.: (93) 474 43 43  
Fax.: (93) 474 34 34

Concepción Arenal, 13  
50005 Zaragoza  
Tel.: (976) 55 46 76  
Fax.: (976) 55 42 77

### **ALCATEL CONTRACTING**

Antonio Cabezón, 89  
28034 Madrid  
Tel.: (91) 358 24 00

Pol. Las Hervencias, Fase IV,  
Parcelas 1, 2 y 3  
05004 Ávila  
Tel.: (920) 25 69 54 - 25 69 55

Ctra. de Sentmenat, km. 2,6  
08213 Polinya (Barcelona)  
Tel.: (93) 713 05 07

Concha Espina, s/n.  
39600 Maliaño (Santander)  
Tel.: (942) 26 14 93 - 26 14 94

Bodegueros, 24-26  
29006 Málaga  
Tel.: (952) 32 39 76 - 32 39 85

Ctra. de Ocaña, s/n.  
45080 Toledo  
Tel.: (925) 23 05 08 - 23 20 20

Rugat, 10  
46021 Valencia  
Tel.: (96) 362 10 25 - 362 73 44

### **ARQUINET NETWORK**

Falperra, 26 bis  
15005 La Coruña  
Tel.: (981) 15 02 69  
Fax.: (981) 15 02 69

---

*Fuente:* «Guía de instaladores», publicada en *Eurofach Electrónica* en su n.º 257 (diciembre 1997), revista editada por GBP (Goodman Business Press), S. A.

**ASSESORIA  
I SUBMINISTRAMENTS  
INFORMATICS, S.A.**

Lealtad, 50-52  
08950 Esplugues de Llobregat (Barcelona)  
Tel.: (93) 371 99 52  
Fax: (93) 371 94 11

**BICC CABLES  
E INSTALACIONES, S.A.**

Pza. Manuel Gómez Moreno,  
Edif. Bronce  
28020 Madrid  
Tel.: (91) 456 43 00  
Fax: (91) 456 43 30

Pol. Ins. Can-Fatjo del Hurón - Nave 1  
08290 Cerdanyola del Vallés (Barcelona)  
Tel.: (93) 589 22 67  
Fax: (93) 589 60 26

**CECOM DATA, S.A.**

Francisco Sancha, 8  
28034 Madrid  
Tel.: (91) 358 11 25  
Fax: (91) 358 09 88

Pol. Pocomaco, Parc. G-22  
15190 Mesoiro (La Coruña)  
Tel.: (981) 10 13 62  
Fax: (981) 10 19 83

La Guardia Civil, 23  
46020 Valencia  
Tel.: (96) 369 54 62  
Fax: (96) 393 07 40

Autonomía, 26 - 5.º B  
48010 Bilbao (Vizcaya)  
Tel.: (94) 444 51 15  
Fax: (94) 444 59 74

Perú, 230  
08020 Barcelona  
Tel.: (93) 266 10 02  
Fax: (93) 266 27 85

Jiménez Aranda, 19 (Local 8)  
41018 Sevilla  
Tel.: (95) 453 21 02  
Fax: (95) 453 21 62

**CERVISA**

Libra, 61  
08228 Tarrassa (Barcelona)  
Tel.: (93) 736 27 30  
Fax: (93) 731 36 23

Eduardo Torroja, 17  
28820 Coslada (Madrid)  
Tel.: (91) 674 07 14  
Fax: (91) 672 32 35

Avda. Tres Cantos, 63  
46014 Valencia  
Tel.: (96) 377 19 05  
Fax: (96) 377 20 03

**CIESA**

Tarragona, 2  
28045 Madrid  
Tel.: (91) 530 30 71  
Fax: (91) 467 66 95

**COBRA COMUNICACIONES**

General Moscardó, 3  
28020 Madrid  
Tel.: (91) 456 95 00  
Fax: (91) 456 94 50

Pol. Henares, Parc. 124  
19004 Guadalajara  
Tel.: (949) 21 35 59  
Fax: (949) 21 74 44

Pol. Los Palancares, Parc. 19-20-21  
16002 Cuenca  
Tel.: (969) 22 13 15

Pol. Francolí, Parc. 15, Nave 4 - 3.ª Fase  
43006 Tarragona  
Tel.: (977) 54 61 30  
Fax: (977) 54 61 41

Tomás Rullán, 26  
07007 Palma de Mallorca (Balears)  
Tel.: (971) 24 89 00  
Fax: (971) 24 00 11

Pol. El Cerro, Guadarrama, 19  
40006 Segovia  
Tel.: (921) 44 23 50  
Fax: (921) 44 23 51

Pol. Lezama-Leguizamón  
Calle F, I-3.º Izqda.  
48004 Etxebarri (Vizcaya)  
Tel.: (94) 426 17 59  
Fax: (94) 426 00 91

Pol. Vara de Quart Dels Pedrapiquers, 2  
46914 Valencia  
Tel.: (96) 383 35 32  
Fax: (96) 383 29 38

Avda. Fernández Murube, 22-3.º  
41007 Sevilla  
Tel.: (95) 425 42 02  
Fax: (95) 451 40 37

Choupana, 3  
15140 Pastoriza Arteijo (La Coruña)  
Tel.: (981) 60 72 53  
Fax: (981) 60 75 77

50410 Cuarte de Huerva (Zaragoza)  
Tel.: (976) 50 40 23  
Fax: (976) 42 60 91

**COMINTEL, S.L.**  
Albareda, 12 Local A  
08004 Barcelona  
Tel.: (93) 442 34 90  
Fax: (93) 443 15 79

**EC AUTOMATISMOS**  
Julio Domingo, 28  
28019 Madrid  
Tel.: (91) 401 21 00  
Fax: (91) 473 31 26

**ELECNOR, S.A.**  
Marqués de Mondéjar, 33  
28020 Madrid  
Tel.: (91) 355 98 25  
Fax: (91) 361 05 55

Travesía Industrial, 11-13  
08902 Hospitalet de Llobregat  
(Barcelona)  
Tel.: (93) 335 61 56  
Fax: (93) 335 62 64

Dels Pedrapiquers,  
Pol. Ind. Vara de Quart  
46014 Valencia  
Tel.: (96) 370 57 13  
Fax: (96) 370 91 36

**ELECTRO TELESANA**  
García Nuño, 37  
28039 Madrid  
Tel.: (91) 315 78 75  
Fax: (91) 315 82 06

**ELSAT**  
Avda. Verbena de la Paloma, 5  
28041 Madrid  
Tel.: (91) 317 45 16  
Fax: (91) 317 11 66

**ENA TRAFICO**  
San Rafael, 14  
Pol. Ind. Alcobendas  
28100 Alcobendas (Madrid)  
Tel.: (91) 661 89 87  
Fax: (91) 661 96 53

**FIBERCO, S.L.**  
Miguel Yuste, 16  
28037 Madrid  
Tel.: (91) 327 30 83  
Fax: (91) 327 26 45

**FIBERCOM, S.L.**  
María de Luna, 11, Nave 13  
50015 Zaragoza  
Tel.: (976) 73 19 07  
Fax: (976) 73 11 86

Avda. Diagonal, 523 6.º F  
08017 Barcelona  
Tel.: (93) 494 07 07  
Fax: (93) 494 11 94

**FIBRA ÓPTICA  
EN COMUNICACIONES, S.L.**  
Alhóndiga de Gaztelondo, 5 - Planta 2.ª  
48002 Rekalde - Bilbao  
Tel.: (94) 410 53 52  
Fax.: (94) 410 53 52

**FIBRATEL**

Xaudaró, 9 bis  
Madrid  
Tel.: (91) 358 15 56  
Fax: (91) 358 13 98

**GEMATICA**

Artesans, 7 y 9  
08290 Cerdanyola del Vallés (Barcelona)  
Tel.: (93) 580 75 34  
Fax: (93) 580 76 59

**GESCABLE, S.L.**

Sierra de Guadarrama, 31  
Pol. Ind. S. Fernando de Henares, 11  
28830 S. Fernando de Henares (Madrid)  
Tel.: (91) 656 48 86  
Fax: (91) 656 48 93

**GUDULO**

Caridad, 32  
28007 Madrid  
Tel.: (91) 433 57 61  
Fax: (91) 433 79 47

**IDENET INGENIERÍA  
DE REDES, S.L.**

Alejandro Ferrant, 7  
28045 Madrid  
Tel.: (91) 539 88 52  
Fax: (91) 539 78 27

**IDECANO GRANADA, S.L.**

(FILIAL DE IDENET)  
Neptuno, 4  
18004 Granada

**INFORMÁTICA  
Y COMUNICACIONES, S.A.  
(INCOSA)**

Pol. Pocomaco, Parc. A-2, Nave 1  
15190 La Coruña  
Tel.: (981) 13 39 75  
Fax: (981) 13 33 40

Naves Navimbusa  
C/ 30 de Enero de 1964, n.º 5  
09007 Burgos

Tel.: (947) 48 10 01  
Fax: (947) 48 18 53

Pol. Ind. San Ciprián de Viñas,  
Calle Cuatro, Parcela 21, Nave 4  
32911 Orense  
Burgos, 7 - Bajo  
36205 Vigo (Pontevedra)  
Tel.: (986) 26 12 06  
Fax: (986) 26 18 55

Resina, 13-15, Nave, 2-11,  
Edificio Resina  
28021 Madrid  
Tel.: (91) 505 29 76  
Fax: (91) 795 10 34

Calderón de la Barca, 19 - Bajo  
33012 Oviedo (Asturias)  
Tel.: (98) 11 06 77  
Fax: (98) 11 06 77

Granados, 20 - Oficina 9  
24006 León  
Tel.: (987) 21 61 50  
Fax: (987) 21 61 50

Ctra. Vieja de Santiago, s/n.  
27004 Lugo  
Tel.: (982) 25 24 70  
Fax: (982) 25 24 70

Pol. Ins. Sta. Cruz de Bezana,  
Nave 5  
39100 Santa Cruz de Bezana  
(Santander)  
Tel.: (942) 58 08 13  
Fax: (942) 58 08 13

Aguadeal, 4  
47011 Santovenia del Pisuerga  
(Valladolid)

**INSTAL.LACIONES  
I SISTEMES**

**GIRONA, S.L.**  
Baldiri Reixach, 26  
17003 Girona  
Tel.: (972) 22 00 11  
Fax: (972) 22 04 24

**IPT**

Infanta Mercedes. 31 - 2.ª planta  
28020 Madrid  
Tel.: (91) 579 30 00  
Fax: (91) 579 07 08

**IT GROUP**

Albert Einstein, s/n.  
Edif. Forum Tecnología  
08042 Barcelona  
Tel.: (93) 291 76 86  
Fax: (93) 291 76 69

**KERN DATANET**

Pza. Ciudad de Viena, 6  
Planta 2.ª. Oficina F.  
Torre Metropolitana  
28040 Madrid  
Tel.: (91) 563 30 18  
Fax: (91) 536 10 74

Agricultura, 150  
08019 Barcelona  
Tel.: (93) 303 01 59  
Fax: (93) 308 77 09

**LAMBDA COMUNICACIONES  
ÓPTICAS, S.L.**

Parque Tecnológico de Vizcaya,  
Edif. 206  
48170 Zamudio (Vizcaya)  
Tel.: (94) 420 94 10  
Fax: (94) 420 94 13

**LÍNEAS Y CABLES, S.A.**

Matías Turrión, 4  
28043 Madrid  
Tel.: (91) 388 69 45  
Fax: (91) 759 15 16

**MONTELNOR,  
S. COOP. LTDA.**

Pol. Ind. San Ciprián de Viñas,  
Calle 1 n.º 1  
32901 Orense  
Tel.: (988) 23 73 51  
Fax: (988) 25 16 01

**MONTREAL MONTAJES  
Y REALIZACIONES, S.A.**

Gta. Puente de Segovia, 3  
28011 Madrid  
Tel.: (91) 526 06 80  
Fax: (91) 526 39 70

Pol. Ind. de Alcobendas  
San José Artesano, 3  
28110 Alcobendas (Madrid)  
Tel.: (91) 661 11 93  
Fax: (91) 661 00 88

Pol. Argualas, Nave 19  
50012 Zaragoza  
Tel.: (976) 55 25 75  
Fax: (976) 35 18 52

Pol. Asipo, Calle C - Parcela 65-A  
33428 Llanera (Asturias)  
Tel.: (98) 526 26 23  
Fax: (98) 526 06 12

Pol. El Rincón, Nave 13  
21007 Huelva  
Tel.: (959) 27 12 72  
Fax: (959) 27 10 38

Mena de Molina, s/n.  
44003 Teruel  
Tel.: (978) 60 97 88  
Fax: (978) 60 97 88

**NETWORKING  
CAD & LAN, S.L.**

Tutor, 45, Bajo  
28008 Madrid  
Tel.: (91) 559 42 50  
Fax: (91) 548 41 38

**OLIVETTI SOLUTIONS**

Valentín Beato, 6  
28037 Madrid  
Tel.: (91) 375 39 07  
Fax: (91) 375 39 77

Santander, 49-51  
08020 Barcelona  
Tel.: (93) 278 02 52  
Fax: (93) 278 03 14

**OPEN INTEGRATION SYSTEMS**

Corazón de María, 6-5.º  
28002 Madrid  
Tel.: (91) 416 05 62  
Fax: (91) 416 19 03

**ORBIT CONSULTING GROUP**

Corazón de María, 70 Ofic. A  
28002 Madrid  
Tel.: (91) 519 94 39  
Fax: (91) 415 95 50

**PINANSON**

Sta. María Magdalena, 4 - Bajo  
19110 Mondéjar (Guadalajara)  
Tel.: (949) 38 54 44  
Fax: (949) 38 56 43

**RAMÓN RANDULCE**

Pintor Seijo Rubio, 17 B  
15006 La Coruña  
Tel.: (981) 13 02 74  
Fax: (981) 13 89 04

**SEIRT**

Manuel Tovar, 43  
28034 Madrid  
Tel.: (91) 334 20 00  
Fax: (91) 334 20 17

**TELCAR**

Dolores, 14  
28039 Madrid  
Tel.: (91) 571 30 00  
Fax: (91) 571 59 16

**TELEPHONE, S.L.**

Lenguas, 18 - 5.º  
28021 Madrid  
Tel.: (91) 505 00 00  
Fax: (91) 505 11 77

**TELSA**

Ignacio Ellacuría, 16  
28017 Madrid  
Tel.: (91) 356 16 04  
Fax: (91) 356 33 34

**TEST INGENIERÍA**

Ríos Rosas, 42 - 4.º A  
28003 Madrid  
Tel.: (91) 533 60 50  
Fax: (91) 533 78 77

**TRACOINSA**

Pol. Ind. Sur, s/n.  
08754 El Papiol (Barcelona)  
Tel.: (93) 631 15 15  
Fax: (93) 631 15 05

# ÍNDICE

---

- Aislamiento, 5
- Alineamiento del camino del cable (*Right of way*), 6
- Amplificadores ópticos, 133
- APD (fotodiodo de avalancha), 135-136
- Apertura numérica AN (*Numerical aperture, NA*), 21, 23
- Aramida (hebra de aramida), 43
- Armadura de acero, 43
- Atenuación, 28-31
- Avalancha (fotodiodo de) APD, 135-136
  
- Bandeja de empalmes (*Splice trays*), 77-79, 85-86
- Bell, Alexander Graham, 1-2
- BERT (ensayo de tasa de error de bit), 126-128
  
- Cable, composición, 35-44
  - aplicaciones, 40-41
  - armado, 38-40
  - cable aéreo autosoportado, 40
  - cable compuesto tierra-óptico (OPGW), 40
  - cable de estructura ajustada, 35, 37-38
  - cable de figura en 8, 38, 39f
  - cable de tubo holgado, 35-36
  - cable en abanico, 40
  - cables híbridos, 40
  - cable submarino, 40
  - ejemplo de especificación de cable, 44
  - materiales, 42-44
    - armadura de acero, 43
    - cable de tubo o estructura ajustado, 37, 38f
    - cable de tubo o estructura holgada, 35-37
    - cable para exteriores, 42
    - cable para interiores, 42
    - cloruro de polivinilo (PVC), 42
    - fibras de aramida (Kevlar), 43
    - hidrocarburos polifluorados (fluopolímeros), 43
    - hilo de rasgado, 43
    - miembro central, 43
    - polietileno (PE), 42
    - poliuretano, 42-43
    - relleno intersticial, 44
- Cable de estructura ajustada, 35, 37-38
- Cable, instalación, 51-53
  - condiciones con carga, 51
  - condiciones sin carga, 51
  - líneas orientativas del manejo del cable, 52-53
  - radio mínimo de curvatura, 51-52

---

*Nota:* La *f* detrás del número de la página se refiere a la figura.

- Cable, marcado identificativo de, 67  
 Cables de conexión (*Patch cords*), 95-96  
 Cajas de arrastre o tendido (*Pull boxes*), 72-73  
 Cajas de empalmes, 77  
 Capacidad, 5  
 Cintas de advertencia, 56  
 Cinta de arrastre (*Pulling tape*), 60  
 Código de resistencia al fuego (*Fire code*), 75  
 Compra del cable, directrices, 45-47  
 Conducto (*duct*) (canalización conductora de cable), 57, 58-59  
 Conducto ranurado (*Slit duct*), 71  
 Conectores, pérdidas de los, 96-99  
   bicónico, 97  
   D4, 97  
   FC, 97  
   FDDI, 97  
   fibra desnuda, 98  
   índice del líquido de adaptación, 98  
   limpieza, 98-99  
     procedimiento, 98-99  
   PC (super), 98  
   SC, 97  
   SMA, 97  
   ST, 97  
 Confianza (seguridad), 5  
 Corning Inc., 2  
 Cortado, 82  
 Crítico (Ángulo), 23
- Diámetro de campo modal (*Mode field diameter*), 20  
 Dióxido de silicio (Silica), 18  
 Directrices de entrenamiento, 187-190  
 Diseños, fundamentos, 159-185  
   cálculos el ancho de banda, 170-181  
   ejemplos:  
     enlace de transmisión de vídeo en circuito cerrado, 175-177  
     enlace de comunicación de datos RAL, 173-175  
     enlace de comunicación OC-3, 180-181  
   fibra monomodo, 177  
     datos de equipos ópticos, 178  
     datos de fibras, 178  
     fibras de dispersión desplazada, 177  
     fibras de dispersión plana, 178  
   fibra multimodo, 170-173  
     datos de equipos ópticos, 170-173  
     datos de fibras, 170  
   sistemas de fibras ópticas, 160-169  
     ejemplos:  
       fibra óptica de equipamiento óptico RAL, 166-167  
       nominales (potencias ópticas de salida y sensibilidad del receptor), 167-169  
       selección de fibras ópticas, 163-166  
     máximo ancho de banda del enlace, 160-161  
     pérdidas totales del enlace, 160-161  
     procedimiento, 162-163  
     restricciones de los equipos ópticos, 161-162  
     sistema de fibras ópticas monomodo, 159-160  
   topología de redes, 181-185  
     física, 183-185  
       anillo lógico implementado físicamente en estrella, 184  
       bus lógico implementado físicamente en estrella, 184, 185f  
     lógica, 181-183  
       anillo (*ring*), 183  
       anillo rotativo de contado, auto-reconectable, 183  
       bus, 183  
       estrella (*star*), 183  
       punto a punto, 182  
     Dispersión, 31-32  
     Dispersión de Rayleigh (*Rayleigh scattering*), 29  
     Dispersión desplazada (fibras de), 33, 177  
     Dispersión plana (fibras de), 33, 178  
     DZF (Zona muerta de la fibra), 117
- Eléctrico a óptico (conversión), 6  
 Electromagnético (espectro), 11-13  
 Empalme mecánico (*Mechanical splice*), 82  
 Entrenamiento del personal, 187-190  
 Escalón (índice), 24-26  
 Ethernet, 143-144  
 Expansión, 6  
 Expansión (lazo de), 68-70  
 Exteriores, instalación de cable en, 55-70  
   aéreo, 67-70  
   bucle de expansión mecánica, 68-70



- Exteriores, instalación de cable en aéreo (*cont.*)
  - dispositivo de fijación, 66, 68f, 70
  - procedimiento, 70
- cable enterrado, 55-57
  - conductos de cable, 57-59
    - conductos, interconductos, dimensión de las tuberías, 57-58, 59f
    - interconductos o subconductos, 57, 58f
    - radio del cable no soportado, 58
    - radio de curvatura en cable soportado, 58
  - cinta de arrastre del cable, 60
    - características, 60
  - dentro de conductos, 60-67
    - conducción bajo tierra en ciudad, 60
    - configuración en pared y autorizaciones, 60-62
    - precauciones de seguridad, 61-63
    - procedimientos de arrastre del cable, 63-67
      - etiquetado de cable de fibra óptica, 67
      - instalación bajo tierra, 63, 64f
      - posicionado del carrete y del arrastre, 63
  - lubricante del conducto, 59
    - características, 59
    - coeficiente de fricción, 59
    - procedimiento de aplicación, 59-60
- FDDI (Interfaz de distribución de datos por fibra) 97f, 144-146
- Fibras ópticas:
  - fibra óptica, 17-34
  - acoplamiento de fibras, 19-20
    - aumento de la longitud del cable con el aumento del diámetro del núcleo, 20
  - diámetros del amortiguamiento o protección primaria (*buffer*), 20
  - ancho de banda de la fibra, 31-33
  - aplicaciones, 7-10
    - comunicación de datos, 7
    - industria, 9, 10f
    - oficina central de conexiones (*OC*), 7-8
    - red de área local (*RAL*), 7-9
    - red de área metropolitana (*RAM*), 9-10
    - televisión por cable, 7, 8f
  - capas, 17
    - núcleo central, 17-18
    - revestimiento (*cladding*), 17-19
    - recubrimiento (*coating*), 17
  - código de colores, 203-205
  - composición, 17-21
    - características, 20
    - diámetros, 18-19
      - núcleo: 8 a 10/125  $\mu\text{m}$ , 18
      - núcleo: 50/125  $\mu\text{m}$ , 19
      - núcleo: 62.5/125  $\mu\text{m}$ , 19
      - núcleo: 85/125  $\mu\text{m}$ , 19
      - núcleo: 100/140  $\mu\text{m}$ , 19
  - desventajas, 6
    - derecho al paso, 6
    - eléctrica a óptica (conversión), 6
    - instalación, 6
    - reparaciones, 7
  - diámetro de campo modal, 20
  - dispersión cromática, 31-33
    - guía-onda, 31-33
    - material, 31-33
  - dispersión multimodo (modal), 26f, 31-33
    - señal de dispersión, 31, 32f
  - ejemplo de especificación, 34
  - ensanchamiento del pulso (*pulse-broadening*), 31-32
  - historia, 1-2
  - índice de refracción, 17-18
  - monomodo, 27
    - propagación de la luz, 26
  - multimodo, 24-27
    - índice gradual, 24-26
      - propagación de la luz, 24, 25f
    - índice escalón, 24, 25
      - dispersión multimodo (modal), 25, 26f
      - propagación de la luz, 25
    - número de modos en el núcleo central, 24
  - pérdidas de potencia óptica (atenuación), 28-31
    - pérdidas por curvatura, 28, 29f
      - microcurvaturas, 28
  - decibelios (dB), 28
  - reflexión de Fresnel, 30-31
    - OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo), 31
    - reflexión de potencia de luz en las fronteras, 31
  - pérdidas de fabricación en las fibras, 30
  - pérdidas propias de la fibra, 29-30

- Fibras ópticas, pérdidas de potencia (*cont.*)  
 difusión de Rayleigh, 29  
 longitudes de onda de trabajo, 30  
 pérdidas de conectores y empalmes, 28-29  
 transmisión de luz, 1-3, 21-23  
 ángulo crítico, 23  
 ángulo de incidencia, 21  
 ángulo de refracción, 21  
 apertura numérica (AN), 21  
 Ley de Snell, 21  
 máximo ángulo de aceptación o acoplamiento, 21-23  
 modulación, 3  
 analógica, 3  
 digital, 3  
 digital con convertidor analógico-digital, 3-4  
 núcleo central, 23  
 reflexión interna total, 21, 22f  
 refracción, 21, 22f  
 sistema de dos vías de comunicación, 4  
 ventajas, 5-6  
 aislamiento, 5  
 capacidad, 5  
 dimensión, 5  
 expansión, 6  
 fiabilidad, 5  
 interferencias eléctricas, 5  
 mantenimiento, 5  
 peso, 5  
 regeneración de la señal, 6  
 seguridad, 5  
 versatilidad, 6
- Figura en 8 (cable de), 38, 39f
- Forma de empalmar (*Splicing*), 77-86  
 bandejas de empalmes, 77-79  
 cajas de empalmes, 77  
 montajes sobre paredes, 77, 78f, 85-86  
 cortado de la fibra, 82  
 empalme mecánico, 82  
 empalme por fusión, 81-82  
 precauciones de seguridad, 81  
 juego de herramientas, 82-83  
 panel de conexiones, 79-81  
 acabado del cable, 80  
 paneles de paso de cables, 80  
 adaptador (receptáculo), 80  
 procedimiento, 83-86  
 longitudes del pelado del cable, 84f  
 limpieza de la fibra óptica, 85f  
 pelado de la fibra óptica, 84f
- Frecuencia, 11
- Full-duplex (Comunicación bilateral simultánea), 137
- Fusión (empalme por), 81
- Gradual (índice), 24-26
- Índice de refracción, 18
- Instalación interior (cable para), 71-76  
 cajas de tendido (*pull boxes*), 72-73  
 ángulos (esquinas), 73  
 atravesado rectilíneo, 72  
 conductos y bandejas para cables, 71-72  
 conducto ranurado, 71  
 precauciones de seguridad, 72  
 encaminamientos por edificios, 74-76  
 ejemplo de cable, 75  
 procedimiento, 76  
 vertical, 73-74  
 malla de sujeción mecánica del cable, 73-74
- Instalación (ensayo), 121-129  
 BERT ensayo de tasa de error de bit, 126-128  
 ejemplo, 127-128  
 procedimiento, 127  
 criterio de aceptación de la fibra, 125-126  
 atenuación máxima de la fibra óptica, 125-126  
 pérdidas máximas de conexión, 126  
 pérdidas máximas en el empalme, 126  
 promedio de atenuación en una fibra óptica, 126  
 ensayos de cable de fibra óptica, 121-125  
 aceptación, 121, 124-125  
 carrete, 121-123  
 procedimiento, 123-124  
 instalación de los empalmes, 121, 123-124  
 pérdidas en los empalmes, 123f  
 procedimiento, 123-124
- Ethernet, 143-144
- FDDI (*Fiber distribute data interface*), 144  
 fallo en el anillo, 144, 145f  
 interfaz de distribución de datos por fibra, 144-146  
 red principal, 144, 145f

- Instalación (ensayo) (*cont.*)
  - guía orientativa de adquisición de cable, 45-47
- Instalación (procedimiento de), 147-148
  - en oficinas, 138-139
    - comunicación en full-duplex, 137
    - montaje en rack/oficina, 137
  - en una planta industrial, 139-141
    - montaje de la cabina, 140-141
    - remoto, 140
  - Integración del sistema, 137-146
  - mantenimiento, 149-150
  - receptor óptico, potencia, 128
    - ensayo del umbral (*threshold test*), 128-129
      - márgen óptico, 128
      - procedimiento, 128-129
    - umbral de potencia del receptor óptico (*receiver optical power threshold*), 128, 129f
  - registros de información (*records*), 155-156
  - reparación (*repair*), 151-154
  - red óptica síncrona (Sonet), 146
  - sistema de módem óptico, 141-142
    - ejemplo, 142
  - sistema multiplexado, 142-143
- Interferencia, 5
- Interiores (conductos), 57, 58f
  
- Juegos Olímpicos de Invierno de Lake Placid, 2
  
- Kevlar, 43
  
- Láseres, 134-135
- Latiguillos (*Pigtails*), 95-96
- LED, diodo emisor de luz (*Light-emitting diode*), 134-135
- Líneas orientativas para la adquisición de cable, 45-47
- Localización y reparación de averías, 157-158
  - con interrupción del servicio, 157-158
  - sin interrupción del servicio, 157
- Lubricante, 59-60
  
- Mantenimiento, 149-150
  - repercusión en el servicio, 150
  - repercusión de la interrupción del servicio, 149-150
  - registros, 156
- Margen óptico, 128
- Máximo ángulo de acoplamiento o aceptación, 21-23
- Medidor de ensayos de potencia (*Power meter test*), 101-114
  - decibelio (dB), 101-104
    - ejemplo, 104
  - medidas de potencia óptica, 101-102
    - tabla de conversión de miliwatios, 103
  - equipamiento, 104-105
  - medidas de instalaciones de fibra óptica, 107-111
    - ejemplos, 109-111
    - procedimiento, 107-109
      - configuración, 108-109
  - medida de pérdidas de retorno, 111
    - configuración, 111f
  - miliwatios (mW), 101
  - pérdidas en cables de interconexión, 105-111
    - procedimiento, 105-107
  - presupuesto de un enlace óptico, 111-114
    - ejemplo, 112
    - pérdidas, 113-114
    - registros, 155-156
- Microcurvaturas (*microbending*), 28
- Módem óptico, 131-132, 142-143
- Modo, 27
- Multimodo, sistemas de fibras ópticas, 159-160
- Multiplexor, 133, 142-143
  
- OPGW (*optical ground wire*), cable compuesto tierra-óptico, 40
  
- Paneles de conexiones, 79-81
- PE (polietileno), 42
- Pérdidas en los empalmes, 123f, 126
- PIN (fotodiodo zona p-intrínseco-zona n), 135
- Polietileno (PE), 42
- Precauciones de seguridad, 49-50
  - corte de cable, 49
  - disolventes, 50
  - empalmado, 81-82
  - empalmadora por fusión, 50
  - equipo óptico, 134, 136

- Precauciones de seguridad (*cont.*)  
 instalación del cable por una conducción, 61-62  
 instalación del cable en interiores, 72  
 luz láser, 49-50  
 pelado del cable, 49  
 piezas para fibra óptica, 49  
 reparación, 151  
 soluciones de limpieza, 50  
 tensionado del cable, 50
- Propiedades de la luz (*Light properties*), 11-15  
 espectro electromagnético, 11-13  
 frecuencia, 11  
 teoría corpuscular, 12-13  
 teoría ondulatoria, 12
- Propagación de la luz, 13-15  
 amplificadores ópticos, 133  
 precauciones de seguridad, 134  
 sistemas por láser, 134, 135f  
 detección óptica, 135-136  
 APD (fotodiodos de avalancha), 135  
 PIN (fotodiodo positivo-intrínseco-negativo), 135-136  
 rango dinámico óptico, 136  
 generadores de luz, 134-136  
 láseres, 133-135  
 LED diodos emisores de luz, 134-135  
 precauciones de seguridad, 135  
 módem óptico, 131-132  
 enlace, 131-132  
 aplicaciones, 132  
 integración en el sistema, 141-142  
 ejemplo, 142f  
 registros, 155-156  
 multiplexor, 133  
 enlace (*link*), 133  
 integración en el sistema, 142-143  
 proyectos fundamentales, 160-162  
 ejemplo de sistemas de fibra óptica, 166-167  
 fibras monomodo, 177-179  
 fibras multimodo, 170-173
- Protección primaria (*Buffer*), 38f  
 PVC (Cloruro de Polivinilo), 42
- Radio mínimo de curvatura, 51-52  
 Rango dinámico óptico, 136  
 Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), 115-120  
 determinación de la localización física de una anomalía, 118-120  
 localización de una rotura de fibra, 120f  
 procedimiento, 119-120  
 equipamiento, 116-117  
 ejemplo, 116-117  
 procedimiento, 117-118  
 configuración, 117f  
 trazas, 118f, 119f  
 zona muerta de la fibra, 117  
 registros, 155-156
- Reflexión, 14  
 Reflexión interna total, 23  
 Refracción, 13-14, 21, 22f  
 ángulo de incidencia, 21  
 ángulo de refracción, 21
- Regeneración, 6  
 Registros, 155-156, 208-212  
 instalación, 155-156  
 cable de fibra óptica, 156  
 ensayo de medida de potencia, 155-156  
 ensayo mediante reflectómetro en el dominio del tiempo, 155  
 equipo óptico, 156  
 planos de lo instalado, 156  
 mantenimiento, 156
- Reparación, 7, 151-154  
 cable de fibra óptica aéreo, 151, 152f  
 cajas de empalme montadas sobre el cable fiador, 152  
 cajas de empalme montadas sobre el poste (apoyo), 152  
 precauciones de seguridad, 151  
 procedimiento, 151-154
- Seguridad, 5  
 Selección del cable, directrices, 45-47  
 Sol, 1  
 Sonet (Red óptica síncrona), 146
- Teléfono óptico (*Photophone*), 1  
 Tensión de arrastre (*Pulling tension*), 51-52.  
 (*Véase también* instalación de cable)
- Terminación, 86-94  
 cable de fibra óptica, 91-94  
 aplicaciones de protección (amortiguamiento), 93-94  
 cajas de empalmes para interiores, 92, 93f

- Terminación (*cont.*)
- conector instalable en campo (*in situ*),
    - 93
    - latiguillos, 93
    - panel de conexiones, 93
    - sin caja, 92
  - conector instalable en campo, 86-87
    - juego de herramientas, 88
    - operación de pulido, 89
    - procedimiento, 88-90
  - latiguillo, 86, 90-91
    - kit de herramientas, 90
    - procedimiento, 90
  - Umbral del receptor, 128-129
  - Útiles de limpieza, 98
  - Versatilidad, 6
  - Zona muerta de la fibra, 117



# S E R I E

## **ELECTROTECNOLOGÍAS**

### TÍTULOS PUBLICADOS

#### 1. ALIMENTACIÓN DE EQUIPOS INFORMÁTICOS Y OTRAS CARGAS CRÍTICAS

*Martínez García, Salvador*

Analiza de forma clara y práctica los problemas asociados a la alimentación de aquellos equipos y sistemas que requieren una gran calidad de la energía eléctrica y una completa seguridad de suministro.

La obra compendia la experiencia de más de veinticinco años dedicados al conocimiento y perfeccionamiento de las fuentes de alimentación eléctrica.

ISBN: 84-7615-920-X

#### 2. TÉCNICAS Y APLICACIONES DE LA ILUMINACIÓN

*Fernández, Luis C., y De Landa, Jaime*

Analiza los aspectos más significativos que intervienen en la iluminación, a partir de los conceptos básicos de luminotecnia y, fundamentalmente, de la tecnología de los equipos. Se establecen los criterios y condiciones de aplicación del alumbrado, tanto en interiores como en exteriores. Asimismo, se describen los últimos desarrollos técnicos y la evolución previsible de la tecnología.

ISBN: 84-481-0046-8

#### 3. LA BOMBA DE CALOR

*Monasterio, Román; Hernández, Pedro, y Sáiz, Javier*

Es una obra eminentemente práctica, cuyo objetivo es proporcionar una aproximación real a la técnica de la bomba de calor, así como una idea de las posibilidades de instalación para cada caso concreto. Sus autores cuentan con una amplia experiencia en diversas empresas de instalaciones, ahorro energético, aire acondicionado y calefacción.

ISBN: 84-481-0084-0

#### 4. COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR

*Monasterio, Román; Hernández, Pedro, y Sáiz, Javier*

El objetivo de esta obra es proporcionar una aproximación real de la técnica de la compresión mecánica de vapor, así como una idea de las posibilidades de instalación para cada caso concreto, teniendo en cuenta tanto aspectos técnicos como de rentabilidad.

ISBN: 84-481-0083-2

#### 5. LA TECNOLOGÍA DE HAZ DE ELECTRONES Y SUS APLICACIONES

*Santamaría, Francisco, y San José, Iñaki*

La obra tiene como principal objetivo dar a conocer los principios de funcionamiento y sus aplicaciones, como son soldadura, tratamientos térmicos, recubrimiento, perforación y fusión. A lo largo de sus páginas se presentan las principales características de esta tecnología, así como los equipos industriales existentes.

ISBN: 84-481-0185-5

## 6. ACUMULADORES ELECTROQUÍMICOS

*Fullea, José*

Hace una descripción de los acumuladores primarios y secundarios y analiza los sistemas avanzados para las nuevas aplicaciones, vehículo eléctrico, sistema de alimentación ininterrumpida, acumulador solar, etc. Su objetivo es que el profesional disponga de los conocimientos y datos necesarios para elegir el sistema más adecuado a cada tipo de aplicación.

ISBN: 84-481-1998-5

## 7. HORNOS INDUSTRIALES DE RESISTENCIAS

*Astigarraga, Julio*

Estudia de forma sistemática y extensa las características y funcionamiento de las resistencias de calentamiento en hornos industriales, los materiales de aislamiento, intercambio térmico entre las resistencias y la carga con los métodos de cálculo correspondientes.

Se describen los tipos más frecuentes, los equipos de regulación y control, para concluir con el estudio de los balances energéticos y de explotación.

ISBN: 84-481-1937-1

## 8. HORNOS INDUSTRIALES DE INDUCCIÓN

*Astigarraga, Julio*

Estudia, en primer lugar, los principios físicos, eléctricos y térmicos de la aplicación de la inducción al calentamiento de materiales conductores, señalando las propiedades y características correspondientes, principalmente de los materiales.

Describe a continuación los equipos utilizados en frecuencia de red y en media frecuencia, para pasar a las aplicaciones principales clasificadas en: hornos de fusión y mantenimiento de metales, calentadores de inducción para deformación plástica y equipos de inducción para tratamientos térmicos.

ISBN: 84-481-1808-1

## 9. HORNOS DE ARCO PARA FUSIÓN DE ACERO

*Astigarraga, Julio*

Estudia, en primer lugar, los principios básicos del horno de arco, el circuito eléctrico básico en corriente alterna (c. a.), y en corriente continua (c. c.), y los diagramas de funcionamiento correspondientes.

Sigue después una descripción detallada de los equipos mecánicos en c. a., para considerar después el horno de arco de c. c., que ha conocido en los últimos años un notable desarrollo.

ISBN: 84-481-1728-X

## 10. ARRANQUE INDUSTRIAL DE MOTORES ASÍNCRONOS

*Merino-Azcárraga, José María*

Se inicia describiendo la problemática general del arranque del accionamiento conjunto. Luego analiza los modos de arranque clásicos y continúa con los arrancadores electrónicos estáticos. Dedicar un capítulo a la influencia de la red de alimentación. También describe los componentes comunes a todos los modos de arranque. Hay un capítulo para el estudio de los problemas térmicos y mecánicos. El libro termina con capítulos destinados a especificaciones, aplicaciones y selección de modos de arranque.

ISBN: 84-481-1633-X

## 11. HORNOS DE ALTA FRECUENCIA Y MICROONDAS

*Astigarraga, Julio, y Astigarraga Aguirre, Julio*

Presenta, después de una breve introducción, los principios físicos del calentamiento por alta frecuencia en cargas homogéneas y heterogéneas, así como microondas con el concepto de profundidad de penetración y definiendo en ambos casos las características de funcionamiento. Describe a continuación los equipos eléctricos y mecánicos, tanto en alta frecuencia como en microondas. Se dedica especial atención a los aplicadores de carga, mostrándose los diferentes tipos que normalmente se utilizan.

ISBN: 84-481-1634-8

## 12. LA TECNOLOGÍA LÁSER

*Dorronsoro, Miguel*

La presente obra tiene como objetivo proporcionar una visión panorámica de los fundamentos y aplicaciones de la tecnología láser. Está dirigida a técnicos y profesionales que precisen realizar un primer contacto con la misma, y en este sentido se ha pretendido cuidar especialmente los capítulos de aplicaciones, sistemas y comparación con otras tecnologías. Esperamos que sea de utilidad y contribuya a una mejor comprensión y difusión de esta tecnología.

ISBN: 84-481-0260-6

## 13. ELECTROSÍNTESIS Y ELECTRODIÁLISIS

*Ochoa, José Ramón*

Es una obra donde se describen dos tecnologías electroquímicas de una forma clara y fundamentalmente práctica, haciendo especial hincapié en sus aplicaciones tanto de desarrollo de procesos de fabricación limpios, como el tratamiento de los efluentes generadores en las actividades industriales, sin olvidar su utilidad en la valoración de dichos efluentes.

ISBN: 84-481-0389-0

## 14. TECNOLOGÍAS ASISTIDAS POR PLASMA

*Gil Negrete, Andrés; Tagle, José Antonio; Múgica, Juan Carlos, y Oñate, José Ignacio*

La aplicación de estas tecnologías en campos como la construcción mecánica en general, la aeronáutica, el tratamiento de residuos tóxicos, los biomateriales, y un largo etcétera de otros campos industriales, entre los que se encuentran, por ejemplo, las plantas productoras de energía, viene condicionada por la difusión y el conocimiento de estas tecnologías en los diferentes sectores de actividad industrial.

ISBN: 84-481-0819-1

## 15. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

*Fullera García, José; Trinidad López, Francisco; Amasorrain, Juan Carlos, y Sanzberro, Mikel*

En primer lugar, describe los componentes del vehículo eléctrico, analizando a continuación sus utilidades típicas, prestaciones y características. Dedicamos una parte importante al estudio de los nuevos desarrollos. Toda esta información, expresada de una forma bien documentada y a la vez práctica, permite al lector conocer la evolución del vehículo eléctrico a corto plazo y sacar sus propias conclusiones sobre el futuro del mismo.

ISBN: 84-481-1201-6

## 16. CONVERTIDORES DE FRECUENCIA PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

*Merino Azcárraga, José María*

Se inicia con una panorámica general para pasar a describir, de forma resumida, el funcionamiento y prestaciones de motores asíncronos y síncronos. *A posteriori* incide en los componentes de potencia de los convertidores partiendo de los diversos semiconductores controlables. Hay un breve capítulo dedicado a los cicloconvertidores, seguido de otro con la descripción y análisis de los convertidores de circuito intermedio. A continuación, en sendos capítulos, se ve el funcionamiento conjunto de los convertidores con los motores asíncronos y síncronos. Seguidamente se analizan las repercusiones de la conexión de los convertidores a la red. Los capítulos finales se dedican a los componentes auxiliares, especificación de los convertidores y a sus aplicaciones.

En la parte final del libro se incluyen apéndices con desarrollos teóricos, datos prácticos y cálculos. Para terminar, van los referidos a fabricantes, normalización, bibliografía y los índices de referencia.

ISBN: 84-481-1233-4