

FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE F.O.

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 curso.

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 escrito 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.

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 LAN, 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.*

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 (µm)	Atenuación fibra (dB/Km)	AN fibra	Ancho banda fibra (MHz x 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 x 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 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. Esta 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 x 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.

$$\text{Pérdidas máximas} = \text{Potencia media salida transmisor} - \text{Sensibilidad receptor}$$

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:

- 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 PC (ver Fig. 22.1). Se ha seleccionado un equipamiento de comunicaciones óptico que es compatible con el equipamiento de la PC (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 x Km)	Máxima atenuación (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

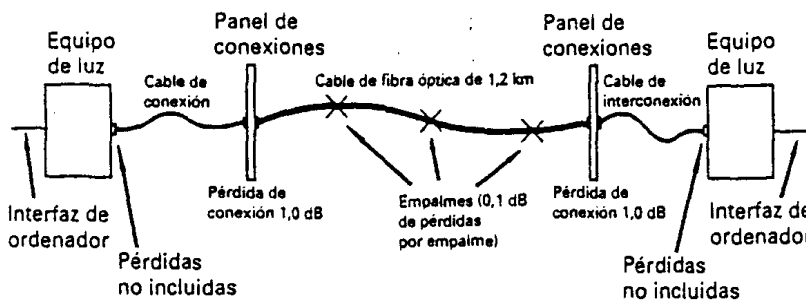


FIGURA 22.1. Ejemplo de enlace de PC por fibra óptica.

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 x 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 instalación de la FO:
 - 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	2.0	dB
Pérdidas totales del enlace	7,9	dB

Por lo tanto, utilizando la fibra óptica de 62,5/125 pm, 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		
Margen óptico	2.0	dB
Pérdidas totales del enlace	9,1	dB

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 LAN recomendarán solamente un tipo de fibra óptica (62,5/125) para utilizar con sus equipamientos. Esto simplifica el proceso. El siguientes ejemplo muestra los cálculos basados en esta información.

Fibra óptica estándar utilizada con equipos ópticos para LAN: Un ejemplo.

Una sección de LAN debe ser ampliada en una planta utilizando fibra óptica. Para este enlace se van a considerar dos repetidores LAN 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 x 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	2.0 dB
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

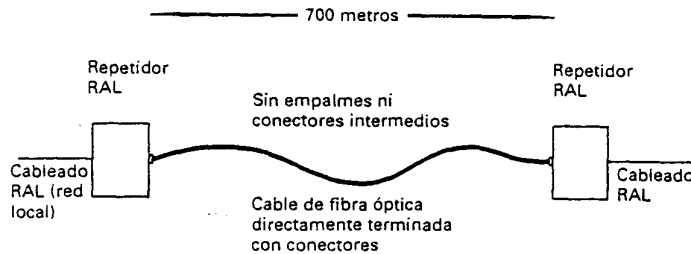


FIGURA 22.2. LAN simple por fibra óptica.

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.

Pérdidas de la fibra óptica=	5,0- 2,0 - 2,0 - 0,1
Pérdidas de la fibra óptica=	0,9 dB
Atenuación de la fibra óptica =	0,9 dB/0,7 km
Máxima atenuación de la fibra óptica =	1,2 dB/km

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 x km
Potencia nominal de salida óptica	-15 dBm
Sensibilidad del receptor	-25 dB m a SIN 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?

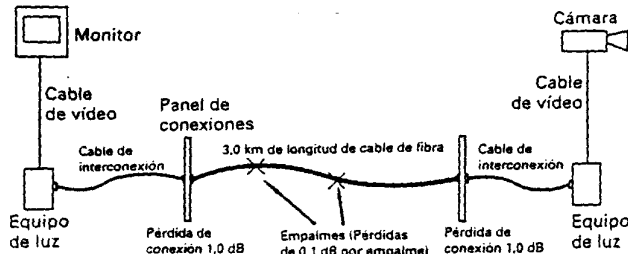


FIGURA 22.3. Ejemplo de enlace de video por fibra óptica.

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 MHz x Km
 - 3 Km de longitud máxima de fibra óptica
 - máximas pérdidas del equipamiento no suministradas
 - sensibilidad del receptor -25 dBm a 68 S/N
 - potencia media de salida del transmisor -15 dBm
 - margen dinámico del receptor de -20 a -25 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	1,0 dB	
f)	Pérdida total del enlace	?	dB
g)	Potencia media de salida del transmisor	-15,0	dBm

h)	Potencia de entrada del receptor (g -j)	?	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 x 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.

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 x Km $B_{(Modal \text{ MHzxKm})}$

Dispersión cromática de la fibra

(a la longitud de onda de trabajo): ns/nm x Km $D_{Cromat,(ns/nm \text{ xKm})}$

Longitud total de la fibra instalada: Km $d_{instal} (Km)$

Longitud de fábrica de la fibra óptica: Km $D_{fábrica} (Km)$

Gamma, concatenación/rebaje: gamma γ

Datos del equipamiento de onda luminosa

Régimen de transmisión en baudios	Mbps	$R_{(Mbps)}$
Método de modulación óptica	NRZ, RZ, Manchester, Analógico	
Anchura espectral del generador de luz	Nm	$W_{Espectr} (nm)$
Tiempo de subida del generador de luz	Ns	$T_{Gene.luz} (ns)$
Tiempo de subida del detector	Ns	$T_{Detect} (ns)$
Longitud de onda de trabajo	Nm	λ

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 distancia, en MHz x 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 x 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 x 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. En primer lugar, el ancho de banda eléctrico del sistema ($B_{Sist.Electr.(MHz)}$) 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:

$$\begin{aligned} B_{Sist.Electr.(MHz)} &= R_{RZ}(Mbps) \\ B_{Sist.Electr.(MHz)} &= R_{Manchester}(Mbps) \\ B_{Sist.Electr.(MHz)} &= F_{Analog}(MHz) \\ B_{Sist.Electr.(MHz)} &= \frac{R_{NRZ}(Mbps)}{2} \end{aligned}$$

2. Con objeto de calcular los parámetros desconocidos se aplicará la ecuación siguiente del tiempo de subida:

$$T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

El miembro izquierdo de esta ecuación puede ser considerado como el tiempo total de subida de la fibra óptica:

$$T_{Fibra(ns)}^2 = T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2$$

El miembro derecho de esta ecuación puede considerarse como el tiempo de subida del equipo:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

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:

$$T_{Sistema(ns)} = \frac{0,35}{B_{Sit.Electr}(GHz)}$$

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:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

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:

$$T_{Cromática(ns)} = D_{Cromática(ns/nm)} \times Km \times W_{Espectral(nm)} \times d_{instal}(Km)$$

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:

$$B_{MOdal.Instal}(MHz) = B_{MOdal}(MHz \times Km) / d_{instal}(Km)$$

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 (γ) 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:

$$B_{MOdal.Instal}(MHz) = (B_{Modal}(MHz \times Km) / d_{Fábrica}(Km)) \times (d_{Fábrica}(Km) / d_{Instal}(Km))^\gamma$$

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:

$$B_{Modal.Instal(MHz)} = \left[\sum (B_{Modal(MHzxKm)} / d_{Fábrica(Km)})^{-\gamma} \right]^{-\gamma}$$

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.

$$B_{ModalEléctrico(MHz)} = 0,71 \times B_{ModalInstalación(MHz)}$$

8. El ancho de banda modal eléctrico se convierte entonces a un tiempo de subida modal:

$$T_{Modal(ns)} = 0,35 / B_{ModalEléctrico(GHz)}$$

9. A continuación se calcula el tiempo de subida total de la fibra:

$$T_{Fibra(ns)}^2 = T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2$$

El ancho de banda eléctrico total de la fibra óptica puede calcularse como sigue:

$$B_{FibraTotal(GHz)} = 0,35 / T_{Fibra(ns)}$$

10. Si el tiempo de subida total de la fibra $T_{Fibra(ns)}$ es igual o menor que el tiempo de subida total del equipo T_{Equipo} , la selección de la fibra óptica es apropiada para la velocidad de transmisión de datos requerida del equipo.

Enlace de comunicaciones LAN de datos: Un ejemplo.

Un enlace de fibra óptica debe ser diseñado para proporcionar comunicación LAN de datos a 10 Mbps. La distancia del camino de fibra óptica entre repetidores LAN 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 espectro LAN 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 Mm
Ancho de banda a 850 nm:	160 MHz x Km
Dispersión cromática:	0,1 ns/nm x 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:

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = \frac{R_{NRZ(Mbps)}}{2} = 10 / 2 = 5MHz$$

2. Entonces se aplicará la ecuación de evaluación del tiempo de subida para determinar si el ancho de banda de la fibra es aceptable:

$$T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

3. El ancho de banda del sistema eléctrico se convierte en un tiempo de subida aproximado:

$$T_{Sistema(ns)} = \frac{0,35}{B_{Sist.Electr.(GHz)}} = 0,35 / 0,005 = 70ns$$

4. Se puede calcular el tiempo de subida atribuible a los parámetros del equipo óptico:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

$$T_{Equipo(ns)}^2 = 70^2 - 12^2 - 20^2 = 66ns$$

5. Se calcula el tiempo de subida para la dispersión cromática de la fibra óptica:

$$T_{Cromática(ns)} = D_{Cromática(ns/nm) \times Km} \times W_{Espectral(nm)} \times d_{instal(Km)}$$

$$T_{Cromática(ns)} = 0,1 \times 20 \times 3,2 = 6,4ns$$

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:

$$B_{MOdal.Instal(MHz)} = (B_{Modal(MHz \times Km)} / d_{Fábrica(Km)}) \times (d_{Fábrica(Km)} / d_{Instal(Km)})^\gamma$$

$$B_{MOdal.Instal(MHz)} = \frac{160}{4,4} \times \left(\frac{4,4}{3,2}\right)^{0,5} = 42,6MHz$$

7. El ancho de banda modal óptico se convierte a ancho de banda eléctrico:

$$B_{ModalEléctrico(MHz)} = 0,71 \times B_{ModalInstalación(MHz)}$$

$$B_{ModalEléctrico(MHz)} = 0,71 \times 42,6 = 30,2MHz$$

8. El ancho de banda modal eléctrico se convierte entonces en tiempo de subida modal:

$$T_{Modal(ns)} = \frac{0,35}{B_{MOdalEléctrico(GHz)}}$$

$$T_{Modal(ns)} = \frac{0,35}{0,302} = 11,6ns$$

9. Por lo tanto, el tiempo de subida total de la fibra se calcula como sigue:

$$T_{Fibra(ns)}^2 = T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2$$

$$T_{Fibra(ns)}^2 = 11,6^2 + 6,4^2$$

$$T_{Fibra(ns)} = \sqrt{11,6^2 + 6,4^2} = 13,2ns$$

El ancho de banda eléctrico total de la fibra óptica se calcula de la siguiente forma:

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{T_{Fibra(ns)}}$$

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{13,2} = 26,5MHz$$

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 en el punto 4. 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 μm
Ancho de banda a 1.310 nm:	200 MHz x km
Dispersión cromática:	0,1 ns/nm x 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:

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = F_{Analog(MHz)}$$

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = 10MHz$$

2. Se aplicará la ecuación de evaluación del tiempo de subida para determinar si el ancho de banda de la fibra es aceptable:

$$T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

3. Se convierte el ancho de banda del sistema eléctrico a un tiempo de subida aproximado:

$$T_{Sistema(ns)} = \frac{0,35}{B_{Sit.Electr.(GHz)}} = \frac{0,35}{0,001} = 35ns$$

4. El tiempo de subida atribuible a los parámetros del equipo óptico puede calcularse como sigue:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

$$T_{Equipo(ns)}^2 = 35^2 - 5^2 - 8^2 = 33,7ns$$

5. El tiempo de subida para la dispersión cromática de la fibra óptica se calcula a continuación:

$$T_{Cromática(ns)} = D_{Cromática(ns/nm) \times Km} \times W_{Espectral(nm)} \times d_{instal(Km)}$$

$$T_{Cromática(ns)} = 0,1 \times 20 \times 4,4 = 8,8ns$$

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.

$$B_{Modal.Instal(MHz)} = \left[\sum (B_{MOdal(MHz \times Km)} / d_{Fábrica(Km)})^{-\gamma} \right]^{-\gamma}$$

$$B_{Modal.Instal(MHz)} = \left[\left(\frac{200}{2,2} \right)^{-\frac{1}{0,9}} + \left(\frac{200}{2,2} \right)^{-\frac{1}{0,9}} \right]^{-0,9}$$

$$B_{Modal.Instal(MHz)} = 48,7MHz$$

7. El ancho de banda modal se convierte entonces en ancho de banda eléctrico:

$$B_{ModalEléctrico(MHz)} = 0,71 \times B_{ModalInstalación(MHz)}$$

$$B_{ModalEléctrico(MHz)} = 0,71 \times 48,7 = 34,6MHz$$

8. El ancho de banda modal eléctrico se convierte a continuación en un tiempo de subida modal:

$$T_{Modal(ns)} = \frac{0,35}{B_{ModalEléctrico(GHz)}}$$

$$T_{Modal(ns)} = \frac{0,35}{0,0346} = 10,1ns$$

9. Por lo tanto el tiempo de subida total de la fibra se calcula como sigue:

$$T_{Fibra(ns)}^2 = T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2$$

$$T_{Fibra(ns)}^2 = 10,1^2 + 8,8^2$$

$$T_{Fibra(ns)} = \sqrt{10,1^2 + 8,8^2} = 13,4ns$$

El ancho de banda total eléctrico de la fibra óptica viene dado por:

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{T_{Fibra(ns)}}$$

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{13,4} = 26,1MHz$$

10. El tiempo de subida total de la fibra óptica es de **13,4 ns**, el cual es inferior al tiempo de subida de **33,7 ns** requerido por el equipo en el punto 4. 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 x kilómetro) (ps/nm x 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 x km		$D_{Material(ns/nm \times Km)}$
Dispersión cromática guía-onda		
(a la longitud de onda de trabajo): ns/nm x km		$D_{GuiaOnda(ns/nm \times Km)}$
Longitud de instalación total de la fibra: km		$D_{instal(Km)}$

Datos del equipo óptico		
Velocidad de transmisión en baudios:	Mbps	R_{Mbps}
Método de modulación óptica:	NRZ, RZ, Manchester, Analógico	
Anchura espectral del generador de luz:	nm	$W_{Espectral(nm)}$
Tiempo de subida del generador de luz:	ns	$T_{Generador(ns)}$
Tiempo de subida del fotodetector.	ns	$T_{Detector(ns)}$
Longitud de onda de trabajo:	nm	λ

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 x 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 ($B_{Sist.Electr}(MHz)$) 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:

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = R_{RZ(Mbps)}$$

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = R_{Manchester(Mbps)}$$

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = F_{Analog(MHz)}$$

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = \frac{R_{NRZ(Mbps)}}{2}$$

2. Se aplicará la ecuación de evaluación del tiempo de subida para calcular los parámetros desconocidos:

$$T_{Cromática(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

El miembro izquierdo de esta ecuación puede considerarse como el tiempo de subida total de la fibra óptica:

$$T_{Fibra(ns)}^2 = T_{Modal(ns)}^2 + T_{Cromática(ns)}^2$$

El miembro derecho de la ecuación puede considerarse como el tiempo de subida del equipo:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

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:

$$T_{Sistema(ns)} = \frac{0,35}{B_{Sit.Electr(GHz)}}$$

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:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

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:

$$D_{Cromática(ns/nmxKm)} = D_{Material(ns/nmxKm)} + D_{GuiaOnda(ns/nmxKm)}$$

$$T_{Cromática(ns)} = D_{Cromática(ns/nm) \times Km} \times W_{Espectral(nm)} \times d_{instal(Km)}$$

El ancho de banda eléctrico total se calcula entonces así:

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{T_{Fibra(ns)}}$$

6. Si el tiempo de subida total de la fibra $T_{Cromática(ns)}$ es igual o menor que el tiempo de subida total del equipo T_{Equipo} , la elección de la fibra óptica es adecuada para la velocidad de transmisión le 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 x km a 1.310 nm
Dispersión cromática guía-onda:	5 ns/nm x 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:

$$B_{Sist.Electr.(MHz)} = \frac{R_{NRZ(Mbps)}}{2} = 155,52 / 2 = 77,76MHz$$

2. Se aplicará la ecuación de la evaluación del tiempo de subida para calcular los parámetros desconocidos:

$$T_{Cromática(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

3. Se convierte el ancho de banda eléctrico del sistema eléctrico en tiempo de subida:

$$T_{Sistema(ns)} = \frac{0,35}{B_{Eléctrico(GHz)}}$$

$$T_{Sistema(ns)} = \frac{0,35}{0,07776} = 4,5ns$$

4. Entonces se resuelve la ecuación del tiempo de subida del equipo:

$$T_{Equipo(ns)}^2 = T_{Sistema(ns)}^2 - T_{Generador(ns)}^2 - T_{Detector(ns)}^2$$

$$T_{Equipo(ns)}^2 = 4,5^2 - 2^2 - 1^2 = 3,9ns$$

5. Se calcula el tiempo de subida para la dispersión cromática:

$$D_{Cromática(ns/nmxKm)} = D_{Material(ns/nmxKm)} + D_{GuiaOnda(ns/nmxKm)}$$

$$D_{Cromática(ns/nmxKm)} = -0,006 + 0,005$$

$$T_{Cromática(ns)} = D_{Cromática(ns/nm) \times Km} \times W_{Espectral(nm)} \times d_{instal(Km)}$$

$$T_{Cromática(ns)} = 0,001 \times 20 \times 50 = 1ns$$

El ancho de banda eléctrico total de la fibra óptica se calcula como sigue:

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{T_{Fibra(ns)}}$$

$$B_{FibraTotal(GHz)} = \frac{0,35}{1,0} = 0,35GHz$$

6. El tiempo de subida total de la fibra $T_{Cromática(ns)} = 1ns$ es inferior al tiempo de subida total del equipo $T_{Equipo} = 3,9ns$ del punto 4, por lo que la elección de la Fibra óptica es adecuada para la velocidad de transmisión de datos requerida por el equipo.

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).

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.

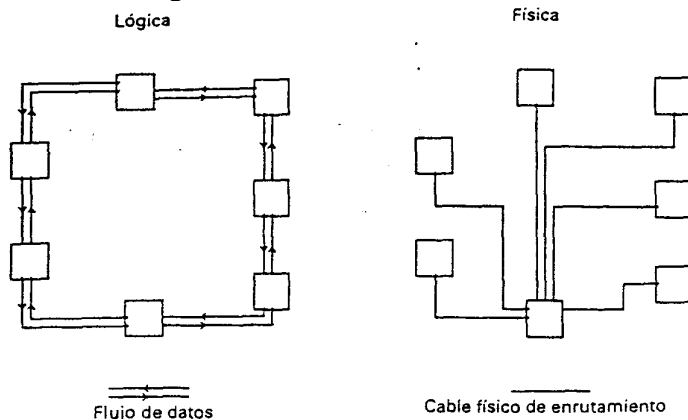


FIGURA 22.4. Topologías lógica y física.

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.

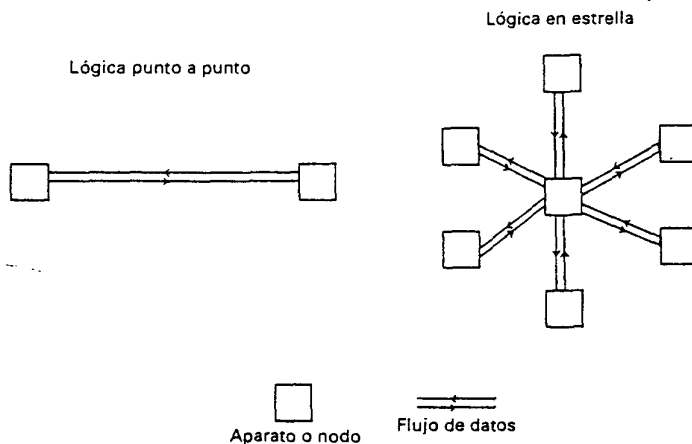


FIGURA 22.5. Topologías lógicas punto a punto y en estrella.

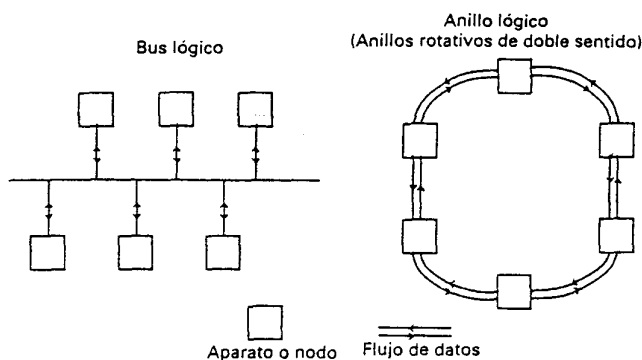


FIGURA 22.6. Topología en enlace común y en anillo.

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).

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 19Base5 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 (EIA 568)* es la

topología física en estrella. Tiene bastantes ventajas significativas sobre otras topologías físicas, incluyendo:

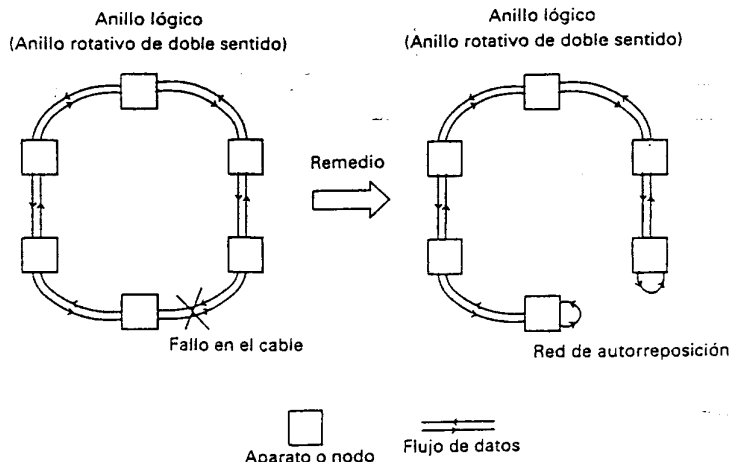


FIGURA 22.7. Anillo lógico de rotación inversa, autoprotegido.

- 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 tableado 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 LAN 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 10BaseT o 10BaseF es la de topología

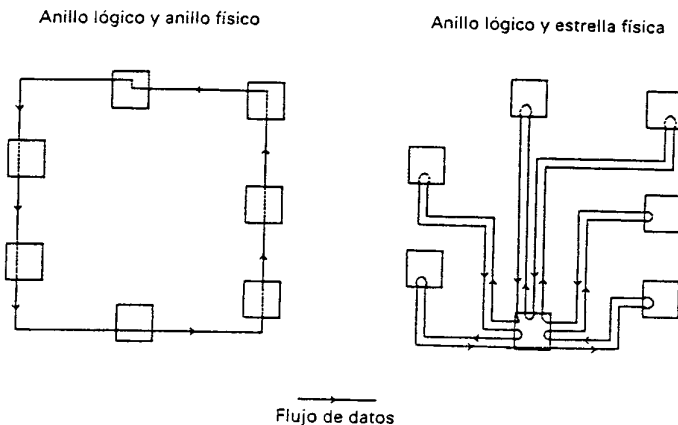


FIGURA 22.8. Anillo lógico implementado como estrella física.

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.

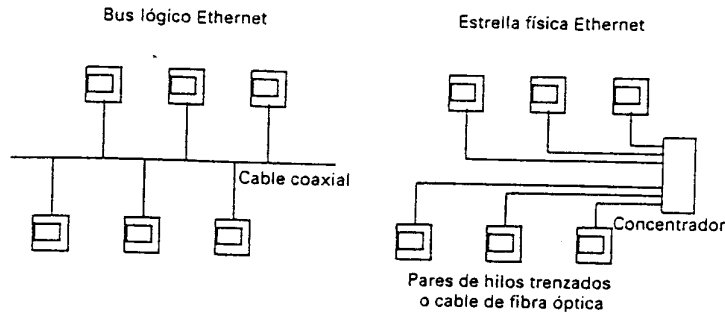


FIGURA 22.9. Topología lógica en enlace común como una estrella física.