

Normativas y criterios de selección de las fibras en las redes de transmisión óptica

Por Ing. Ulises Ropón Lizaso
Técnico en Telemática EP, Subgerencia de Fibra Óptica, Unidad de Negocios Red,
ETECSA
ulisesro@etecsa.cu

Introducción

El empleo de la luz para transmitir información ha revolucionado el mundo de las comunicaciones actuales y, sorprendentemente, en algunos libros como *La Biblia* pueden encontrarse pasajes como: “Yo, la luz, he venido al mundo, para que todo aquel que cree en mí no permanezca en tinieblas” [10], donde se podría interpretar que con el empleo de la luz puede difundirse el conocimiento. Un ejemplo de dicha interpretación sería la red de Internet, la cual emplea como soporte de transmisión la fibra óptica que utiliza el fenómeno de la reflexión total de la luz para transferir grandes volúmenes de información.

El desarrollo alcanzado en las investigaciones en el campo de las comunicaciones ópticas ha permitido satisfacer la continua demanda del incremento exponencial de la capacidad de transmisión, por lo cual se ha requerido que las nuevas generaciones de fibras ópticas amplíen su rango de trabajo, convirtiendo su adecuada selección en eslabón fundamental para lograr obtener un desarrollo acorde con las exigencias de los nuevos tipos de redes.

Básicamente, existen dos tipos de fibras ópticas: multimodo —transporta múltiples modos, empleándose fundamentalmente en redes LAN y enlaces de corta distancia—, y la monomodo —transporta un solo modo, utilizándose en redes LAN, en enlaces de corta y de larga distancia—.

La fibra monomodo es la que presenta las mejores características para enfrentar los nuevos retos que necesitan las redes modernas, capaz de soportar altas velocidades y grandes distancias. Si se tiene en cuenta la importancia de este tipo de fibra en las telecomunicaciones de hoy, se efectuará un análisis de las normativas existentes y de algunos criterios para su selección.

Normativas sobre fibra óptica monomodo

Desde la publicación de la primera recomendación la G.652 en 1984 hasta la actualidad, las normativas han evolucionado considerablemente. Existen 5 recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y cada una, a su vez, tiene categorías que amplían su funcionamiento hasta los 1625 nm.

Las bandas de trabajo de las fibras actualmente son:

- ◆ Banda Original (O) —1260 nm a 1360 nm—
- ◆ Banda Extendida (E) —1360 nm a 1460 nm—
- ◆ Banda Corta (S) —1460 nm a 1530 nm—
- ◆ Banda Convencional (C) —1530 nm a 1565 nm—
- ◆ Banda Larga (L) —1565 nm a 1625 nm—
- ◆ Banda Ultra Larga (U) —1625 nm a 1675 nm (no se utiliza)—

y la relación entre las recomendaciones y sus categorías es la siguiente:

G.652 “Características de las fibras y cables ópticos monomodo” [3].

G.652.A, soporta aplicaciones como las recomendadas en G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10 Gbit/s hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de G.693.

G.652.B, soporta aplicaciones hasta STM-64, como algunas de las descritas en G.691, G.692 y STM-256 para algunas aplicaciones de G.693 y G.959.1.

G.652.C, es semejante a la G.652.A; pero permite transmisiones en longitudes de onda ampliada desde 1360 nm hasta 1530 nm.

G.652.D, es semejante a la G.652.B; pero permite transmisiones en longitudes de onda ampliada desde 1360 nm hasta 1530 nm.

Parámetros	Unidades	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
Atenuación en 1310 nm	dB/km	0,5	0,4	0,4	0,4
Atenuación en 1383 nm	dB/km	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda	≤0,4	≤0,4
Atenuación en 1550 nm	dB/km	0,4	0,35	0,3	0,3
Atenuación en 1625 nm	dB/km	No se especifica	0,4	0,4	0,4
Dispersión cromática en 1550 nm	ps/nm*km	17	17	17	17
Longitud de dispersión cero mínima	nm	1300	1300	1300	1300
Longitud de dispersión cero máxima	nm	1324	1324	1324	1324
Pendiente de dispersión cero	ps/nm ² × km	0,093	0,093	0,093	0,093
Valor PMD _o máximo	ps/km ²	0,5	0,2	0,5	0,2
Longitud de onda de corte	nm	1260	1260	1260	1260

G.653 “Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada” [4].

G.653.A, esta categoría se adapta a los sistemas de las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.693, G.957 y G.977 con una separación disconforme entre canales en la región de longitud de onda de 1550 nm.

G.653.B, es semejante a G.653.A pero un requisito de PMD —*Polarization Mode Dispersion*— más estricto permite el funcionamiento de los sistemas STM-64 con longitudes superiores a 400 km y el funcionamiento de aplicaciones STM-256 de G.959.1.

Parámetros	Unidades	G.653.A	G.653.B
Atenuación en 1310 nm	dB/km	No se especifica	No se especifica
Atenuación en 1383 nm	dB/km	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda
Atenuación en 1550 nm	dB/km	0,35	0,35
Atenuación en 1625 nm	dB/km	No está determinado	No está determinado
Dispersión cromática máxima entre 1550 1575 nm	ps/nm*km	3,5	3,5
Longitud de dispersión cero mínima	nm	1500	1500
Longitud de dispersión cero máxima	nm	1600	1600
Pendiente de dispersión cero	ps/nm ² × km	0,085	0,085
Longitud de onda de corte	ps/km ²	0,5	0,5
Valor PMD _o máximo	ps/km ²	1270	1270

G.654 “Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado” [5].

G.654.A, es la categoría básica para fibras y cables ópticos monomodo de corte desplazado, soportan aplicaciones como las que se consideran en las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977 en la región de longitud de onda de 1550 nm.

G.654.B, esta categoría es apropiada para el sistema descrito en las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977, en la región de longitud de onda de 1550 nm. Puede utilizarse para sistemas de transmisión WDM de mayor longitud y mayor capacidad, por ejemplo, sistemas submarinos sin repetidor con amplificador óptico de bombeo a distancia, descritos en la Rec. UIT-T G.973 o los sistemas submarinos con amplificadores ópticos descritos en la Rec. UIT-T G.977.

G.655 “Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula” [6].

G.655.A, soportan aplicaciones como las G.691, G.692, G.693 y G.959.1. En relación con las aplicaciones descritas en la G.692, es posible, en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión de la fibra, limitar la potencia de inyección máxima total, así como la separación mínima entre canales hasta un valor de 200 GHz.

G.655.B, soportan aplicaciones como las G.691, G.692, G.693 y G.959.1. En relación con las aplicaciones descritas en la G.692 y en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión cromática de la fibra, la potencia de inyección puede ser superior, y ser la separación mínima entre canales inferiores o igual a 100 GHz. Las características de PMD permiten el funcionamiento de sistemas a STM-64 a lo largo de, al menos, 400 km.

G.655.C, son similares a la G.655.B, con la diferencia de que los requisitos PMD son más estrictos, lo

Parámetros	Unidades	G.654.A	G.654.B
Atenuación en 1310 nm	dB/km	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda
Atenuación en 1383 nm	dB/km	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda
Atenuación en 1550 nm	dB/km	0,22	0,22
Atenuación en 1625 nm	dB/km	No está determinado	No está determinado
Dispersión cromática máxima entre 1550 nm	ps/nm*km	20	22
Longitud de dispersión cero mínima	nm	No existe	No existe
Longitud de dispersión cero máxima	nm	No existe	No existe
Pendiente de dispersión cromática 1550 nm	ps/nm ² × km	0,07	0,07
Valor PMD ₀ máximo	ps/km ^{1/2}	0,5	0,5
Longitud de onda de corte	nm	1530	1530

Parámetros	Unidades	G.655.A	G.655.B	G.655.C
Atenuación en 1310 nm	dB/km	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda
Atenuación en 1383 nm	dB/km	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda	No trabaja en esta banda
Atenuación en 1550 nm	dB/km	0,35	0,35	0,35
Atenuación en 1625 nm	dB/km	No se especifica	0,4	0,4
Dispersión cromática entre 1550 -1565 nm	ps/nm*km	0,1(mínima) 6 (máxima)	1(mínima) 10 (máxima)	1(mínima) 10 (máxima)
Valor PMD ₀ máximo	ps/km ^{1/2}	0,5	0,5	0,2
Longitud de onda de corte	nm	1450	1450	1450

40	G. 655 A y B. ó G. 655C DISPERSIÓN POSITIVA			G. 655 A y B. ó G. 655 C (RECOMENDACIÓN) DISPERSIÓN POSITIVA		
≤ 10 ≤ 40	G. 655 A y B. ó G. 655C DISPERSIÓN POSITIVA			G. 655 A y B. ó G. 655 C (RECOMENDACIÓN) DISPERSIÓN POSITIVA		
≤ 10 ≤ 10	G. 655 A y B. ó G. 655C DISPERSIÓN POSITIVA			G. 655 A y B. ó G. 655 C (RECOMENDACIÓN) DISPERSIÓN POSITIVA		
≤ 2,5 ≤ 10	G. 652A, B, C ó G. 652D (RECOMENDACIÓN)			G. 655 A y B. ó G. 655 C (RECOMENDACIÓN) DISPERSIÓN POSITIVA		
≤ 2,5 ≤ 2,5	G. 652A, B, C ó G. 652D (RECOMENDACIÓN)			G. 655 A y B. ó G. 655 C (RECOMENDACIÓN) DISPERSIÓN POSITIVA		
Actual Futura	0-20 km	0-70 km	70-200 km	200-500 km	500-1200 km	>1200
Velocidad (Gbit/s)	Acceso	Metro		Larga distancia		Ultra-larga distancia

Tabla 1 Criterio de selección de las fibras [9]

cual permite que los sistemas STM-64 tengan longitudes mayores de 400 km y aplicaciones STM-256 G.959.1.

G.656 “Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula, diseñada para la utilización de la tecnología CWDM” [13].

Es la normativa de fibra óptica más reciente de la serie G de la UIT que incluye la G.652, G.653, G.654 y la G.655, la cual facilitará la instalación de sistemas de multiplexación de onda aproximada —*Coarse Wave Division Multiplexing (CWDM)*— en redes metropolitanas y aumenta la capacidad de los sistemas —*Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*—, pues permite trabajar en las bandas *S*, *C* y *L*. La característica más importante es que el coeficiente de dispersión cromática tiene una gama de 2 a 14 ps/nm x km en la banda de 1460–1625 nm, en comparación con 1 a 10 ps/nm x km correspondiente a G.655.B y G.655.C que está relacionado, únicamente, con la banda de 1530–1565 nm. El resto de las características son muy similares a las de las recomendaciones anteriores. El diámetro del campo modal de 7 a 11 μm puede compararse con la gama entre 8 y 11 μm de la G.655. El valor de PMD₀ es 0,2 ps/√km —el mismo valor de la G.655.C— y el mínimo recomendado por la UIT. Además, presenta los mismos valores de atenuación y longitud de onda de corte del cable en las bandas *C* y *L* que la Recomendación G.655.

Criterios de selección de las fibras

Aunque para seleccionar la fibra que se utilizará en una red determinada es necesario evaluar diversos factores, en la tabla se muestra un criterio de selección de la fibra basado en la velocidad de trans-

misión y la distancia total del enlace.

Si se selecciona la fibra G.652, es recomendable la utilización de la categoría *D*, porque puede trabajar en las bandas *O*, *E*, *S*, *C* y *L* lo que permite disponer de un 30 % más de longitudes de onda que las fibras G.652.A, B siendo ideal para su utilización en los sistemas CWDM, debido a que ofrece longitudes de onda suplementarias en la banda *E*. Además, presenta las mejores características de PMD, factor que comienza a afectar en enlaces de 10 Gbit/s; pero deberá tener en cuenta que la familia de las fibras G.652 tiene un valor de coeficiente de dispersión cromática alto, lo que impone un límite a los sistemas de 10 Gbit/s alrededor de los 70 km que, si deseara utilizarla en enlaces de mayor distancia, tendría que emplear compensadores de dispersión que implican un costo mayor de su sistema.

En la actualidad, existe la tendencia a no utilizar la fibra G.653. A y B pues presenta problemas con los sistemas WDM, debido a que esta fibra tiene optimizado el coeficiente de dispersión cromática alrededor de 1550 nm en donde no existe una compensación adecuada del efecto no lineal de la mezcla de las cuatro ondas, lo que produce un deterioro significativo de la señal. A pesar de este inconveniente, existen fabricantes que ofrecen soluciones WDM para este tipo de fibra con la utilización de la parte alta de la banda *C*, porque en estas longitudes de onda el coeficiente de dispersión cromática tiene un valor suficiente para compensar las no linealidades. Por supuesto, esto implica una limitación en la cantidad de longitudes de onda a emplear y en la distancia del enlace. Por lo tanto, no se recomienda la selección de esta fibra.

Las fibras G.654.A y G.654.B se utilizan, generalmente, para enlaces submarinos a grandes distancias. Esta recomendación en enlaces terrestres de corta o larga distancia prácticamente no se utiliza, debido a que la fibra G.652 presenta valores de atenuación y coeficiente de dispersión cromática en el entorno de 1550 nm muy semejantes a la G.654 —la atenuación promedio es de 0,18 dB/km; pero el valor del coeficiente de dispersión cromática está entre 20 y 22 ps/nm*km— que, en ocasiones, logra superar esos valores. Además, la G.654 presenta el inconveniente que no permite trabajar en las bandas *O*, *E* y *S*. En enlaces de larga distancia —terrestres o submarinos— la tendencia es utilizar la fibra G.655 en cualquiera de sus variantes.

La Recomendación G. 655 A, B y C está optimizada para obtener mejores prestaciones en la región de 1550 nm, donde la dispersión cromática —valor absoluto— es mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de utilización prevista en la región de 1550 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser particularmente perjudicial para los sistemas que utilizan Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa [6]. Cada categoría presenta dos tipos de fibras, una con dispersión positiva y otra negativa; ambas son adecuadas para los sistemas cuyas distancias de transmisión son hasta de 200 km, y operan en la banda *C*. No obstante, se recomienda la fibra de dispersión positiva porque ofrece mayores distancias de funcionamiento, la posibilidad de poder utilizarla con los futuros sistemas que operan a 40 Gbit/s, la compatibilidad con las aplicaciones de acceso y con las generaciones de

sistemas precedentes. Además, para compensar la dispersión negativa deben utilizarse bobinas de fibra G.652 con alta dispersión positiva. Desafortunadamente, se necesita gran cantidad de fibra de dicho tipo: se requiere un kilómetro de fibra G.652 para compensar dos kilómetros de fibra G.655 de dispersión negativa. Esto produce un aumento significativo de las pérdidas en la red, lo que hace que no sea una solución realmente práctica [9]. Se recomienda, entonces, utilizar fibra G.655.C con dispersión positiva, por presentar las mejores características para los sistemas DWDM y soportar gran variedad de velocidades de transmisión —155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s y 40 Gbit/s o superiores en el futuro—.

El 18 de mayo de 2004, la UIT- T en un comunicado de prensa anunciaba la nueva recomendación de fibra óptica, la G.656; pero hasta el momento no se ha publicado la primera versión de la misma, lo que ha conllevado a que su utilización no se haya expandido.

La persona que seleccione la fibra a utilizar deberá tener en cuenta los siguientes factores técnicos: velocidad de transmisión, distancia del enlace, si utilizará los sistemas de CWDM ó DWDM en el momento de la compra o en el futuro, el coeficiente de dispersión cromática, atenuación, PMD y la longitud de onda de corte —este último parámetro determina en qué banda de trabajo puede funcionar la fibra, debe recordarse que las G.654 y G.655 no permiten trabajar en la segunda ventana (entorno de los 1310 nm), esta problemática repercute en aquellos países en vías de desarrollo, en los cuales es necesario reutilizar, en muchas oca-

siones, el equipamiento (trabaja en 1310 nm) que se desinstala. Una posible solución a esta dificultad podría ser la compra de un cable con 2 tipos de fibras diferentes; pero deberán valorarse los conflictos que implicaría esta decisión desde el punto de vista de la operación y el mantenimiento—.

El aspecto económico no dependerá solamente del tipo de fibra que se desee emplear, un gran peso en el costo lo tiene el tipo de cable que se utilizará, ya sea para instalación aérea en postes telefónicos o de alta tensión, enterrado directamente o instalado dentro de un conducto. Independientemente de cuál sea la opción elegida, el diseño del cable debe satisfacer sus necesidades, elegir un diseño de cable muy sencillo o muy robusto puede repercutir fuertemente en los costos, por lo tanto, se recomienda prestarle una adecuada atención a la elección del diseño. Otro aspecto a tener en cuenta es la tecnología que se empleará para su instalación, la cual permitirá tener algunas libertades en el proceso de diseño del cable.

Conclusiones

Si actualmente la fibra más empleada es la G.652, la tendencia se inclina por la G.652.D —para enlaces menores de 70 km—, pues permite disponer de un 30 % más de longitudes de onda y tiene un uso más eficiente de la multiplexación CWDM y, para enlaces de mayor distancia, se impone la fibra G.655.B ó G.655.C, lo que permitirá emigrar fácilmente hacia sistemas de 10 Gbit/s o más.

Habrà que seguir de cerca el estándar de la G.656, el cual ha sido definido por sus creadores como la norma donde se recogen las características de una fibra con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha, aumentando la capacidad de transporte para sistemas CWDM y para DWDM. Satisfacer las necesidades de las redes ópticas futuras con encaminamiento transparente de longitudes de onda, será un reto de la tecnología: la señal por la fibra óptica deberá atravesar un anillo sin sufrir degradación, de modo que no será regenerada hasta lograr alcanzar los 200 km o más sin necesidad de utilizar amplificadores ni compensadores de dispersión; tendrá que ser capaz de soportar diferentes velocidades de transmisión y gran variedad de protocolos; así como servicios de multiplexado, voz, datos y videos.

Seleccionar la fibra **no ideal** que responda solamente a los intereses de la inversión que se pretende ejecutar en el momento y sin tener en cuenta la emigración posterior del enlace a velocidades mayores o a sistemas WDM, provocará un aumento del costo de los equipos que se utilizarán en el futuro pues estos tendrán que emplear amplificadores y compensadores de dispersión. A veces no se compra la fibra ideal debido al presupuesto, lo que induce a mayor gasto de dinero en el equipamiento que debe usarse. Por lo tanto, no debe perderse de vista que si existe la tecnología capaz de satisfacer los requerimientos, el costo que deberá pagarse lo determinará la capacidad selectiva y previsoras que se tenga. 

Bibliografía

1. Grosz, Diego F. "Sistema de comunicaciones por fibra óptica de alta capacidad". *CSI. Boletín* 51 (2004): 22-33.
2. http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/telecom3/fibra_optica/, Universidad de las Américas-Puebla Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación.
3. Rec. UIT-T G.652 (03/2003), Características de las fibras y cables ópticos monomodo.
4. Rec. UIT-T G.653 (12/2003), Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada.
5. Rec. UIT-T G.654 (06/2002), Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.
6. Rec. UIT-T G.655, (03/2003), Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.
7. Rec. UIT-T G 656, Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.
8. "Perspectivas de evolución y tendencias del mercado de fibra óptica". Presentación de Draka Comteq Iberica S.L, España, 2005.
9. Ryan, Jim. "Consideraciones sobre las fibras a utilizar en las redes metropolitanas". *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel* (1^{er} trimestre de 2002): 52-56.
10. *La Santa Biblia, Antiguo y Nuevo Testamento*. San Juan 12.46, (Revisión 1960): 991.
11. Rec. UIT-T G 650.1 (06/2002), Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodales.
12. Rec. UIT-T G 650.2 (06/2002), Definiciones y métodos de prueba de los atributos estadísticos y no lineales de fibras y cables monomodales.
13. Comunicado de prensa UIT el 18-05-2004. Disponible en: <http://www.itu.int> (Consultado: noviembre de 2005).