



1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CABLES A INSTALAR EN METRO DE MADRID

- Los cables deberán mantener sus características eléctricas y mecánicas entre -30 °C y + 60 °C.
- No deben ser afectados por las siguientes impurezas: Polvo de hierro, cobre, carbón, aceite, vapor de aceite, lubricantes y deben ser resistentes al ozono y a la radiación UV.
- No serán propagadores de incendio, cumpliendo con la norma UNE-EN 60.332-1.2.
- Serán de emisión despreciable de halógenos en caso de incendio, cumpliendo con la norma UNE-EN 60754-1.
- Los gases desprendidos en la combustión de los cables en caso de incendio no serán tóxicos para las personas y animales ni corrosivos, cumpliendo con la norma UNE-EN 60754-2 ($\text{pH} \geq 4.3$ y conductividad $c \leq 10 \mu\text{S}/\text{mm}$).
- Los humos desprendidos en la combustión de los cables en caso de incendio no serán opacos, permitiendo la evacuación de personas y los trabajos de extinción de incendios, cumpliendo con la norma UNE-EN 61.034-1,-2 (La transmisión luminosa será $> 60 \%$).
- Todo el cableado a instalar de forma fija, tanto de cobre como de fibra óptica, cumplirá con la norma EN 50575:2014 + A1:2016 o equivalente, debiendo disponer para cada tipo de cable de una declaración de prestaciones (DoP) con unas características mínimas de reacción al fuego de la clase Cca S1b d1 a1.
- Todos los cables deberán llevar impreso con tinta indeleble: Año de fabricación, nombre del fabricante, tipo de cable, código del cable del fabricante y metraje.

2. CABLEADO DE FIBRA ÓPTICA

2.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA

Los cables de fibra óptica (FO) estarán constituidos básicamente por los siguientes elementos:

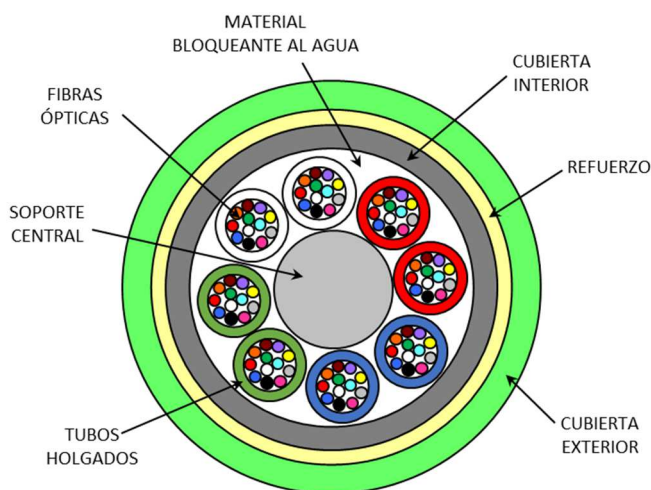


Figura 1: Construcción básica de cable de fibra óptica dieléctrico

- *Elemento de refuerzo central*

El soporte central deberá soportar, entre otras, las tensiones mecánicas provocadas ante variaciones térmicas. Tendrá un coeficiente de dilatación térmico bajo y un módulo de compresión alto. Será de material dieléctrico.

- *Primera protección: cubierta de las fibras*

Las fibras ópticas se revestirán con una primera protección ajustada de silicona multicapa, acrilato curado por ultravioleta u otro material de características similares coloreada, según código establecido.

- *Segunda protección: tubos de alojamiento de las fibras*

Tras esta primera protección, se colocará una segunda protección de tipo holgado (loose tube) de material plástico (poliamida, PBT o similar) de alto módulo de elasticidad, con un diámetro exterior adecuado al número de fibras ópticas que ha de alojar y coloreada según el código establecido.

La sección interior de los tubos que contienen las fibras ópticas se rellenará con un compuesto hidrófugo cuya misión es la de evitar la condensación de humedad y la penetración del agua en el interior de estos.

Estas protecciones estarán libres de poros, grietas, abultamientos y otras imperfecciones.

No se producirá aumento de atenuación de la fibra al colocar la segunda protección.

- *Construcción del cable óptico*

El núcleo de los cables se configurará cableando, en torno al elemento central de soporte, los tubos necesarios para completar el número de fibras ópticas requerido dentro del cable.

Las fibras ópticas se identificarán por el color de su primera protección y por la posición que ocupan en el cable, que vendrá dada por el tubo en la que se encuentran ubicadas, según código establecido.

Los tubos que constituyen la segunda protección de las fibras ópticas se identificarán por la coloración que presenten según código establecido.

El núcleo se rellenará con suficiente material para conseguir un perfecto bloqueo al paso de agua entre los intersticios de las fibras protegidas y entre el núcleo y cubierta interna o cinta envolvente.

El núcleo se envolverá con una o varias cintas o hilaturas aplicadas longitudinalmente con un solape superior a 5 mm.

- *Elemento de refuerzo dieléctrico*

El cable deberá diseñarse con suficientes elementos de refuerzo de tracción para garantizar los requisitos de esta especificación. Este refuerzo de tracción estará constituido por hilaturas de fibra de aramida o fibra de vidrio, que se dispondrán entre las dos cubiertas del cable. Estas hilaturas estarán distribuidas con tensión homogénea. Si estuvieran distribuidas con forma de hélice, la longitud del paso de hélice será tal que permita mantener invariables las características del cable reflejadas en esta especificación.

- *Cubiertas y protecciones*

La parte exterior del cable se constituirá mediante:

- a) Cubierta interior de material retardante de llamas, baja emisión de humos y sin contenido de halógenos.
- b) Ligaduras de aramida/fibra de vidrio.
- c) Armadura de acero/copolímero corrugada y solapada (en el caso de tendido por exteriores).
- d) Cubierta exterior, compuesta por material retardante de la llama, baja emisión de humos y sin contenido de halógenos.

Durante el proceso de extrusión, se adoptarán todas las medidas necesarias para que las capas resulten de espesor uniforme.

La cubierta resultará una masa homogénea, continua, hermética, sin poros, rayas ni defecto alguno mostrando una superficie lisa, de tonalidad y brillo uniforme. Los colores serán intensos, opacos y fácilmente distinguibles

Al aplicar esta cubierta y debajo de ella se dispondrá un cordón de rasgado, previamente impregnado en compuesto de relleno para evitar el paso del agua. El cordón de rasgado deberá tener la consistencia necesaria para poder rasgar la cubierta interna.

- *Armadura de acero*

En los casos en que exista tendido de cable por exteriores se aplicará una armadura de acero/copolímero de 0,15 mm de espesor mínimo cubierta por ambas caras de copolímero. Esta cinta se aplicará corrugada y solapada en toda su longitud.

- *Protección contra roedores*

Todos los cables de fibra a instalar (sean o no dieléctricos) contarán con algún tipo de protección contra roedores.

- *Cubierta exterior*

Estará constituida por un material no propagador del incendio, baja emisión de humos y sin contenido de halógenos. Dicha cubierta será resistente a la luz solar y a la humedad. Y no debe ser afectada por las siguientes impurezas: Polvo de hierro, cobre, carbón, aceite, vapor de aceite, lubricantes y ozono.

La cubierta exterior presentará una superficie lisa, de tonalidad y brillo uniforme e incorporará marcas con la siguiente información:

- a) Metraje a intervalos de 1 m, con un error no mayor del $\pm 1\%$, en tinta (blanca o azul) que contraste con el color de la cubierta.
- b) Identificación de cable y fabricante cada metro, marcado en relieve, el año de fabricación, el número de fibras ópticas y el tipo de fibra.

El color de la cubierta deberá ser aprobado por la Dirección de Obra de Metro, colores utilizados habitualmente son el naranja, el verde y el blanco.

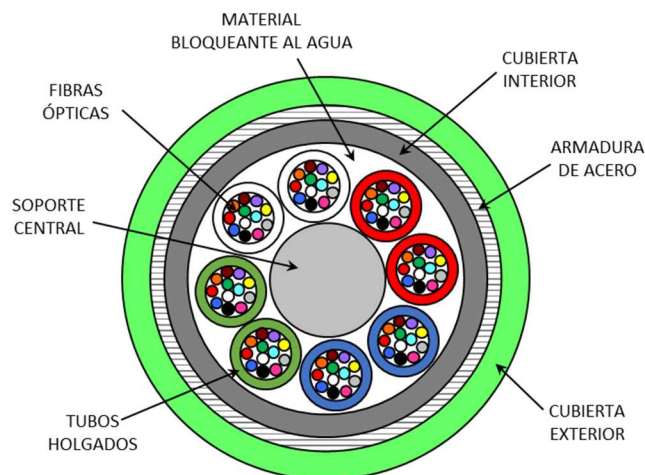


Figura 2: Construcción básica de cable de fibra óptica con armadura de acero

Las fibras ópticas tanto monomodo, como multimodo y mixtas han de seguir con el siguiente diseño de construcción:

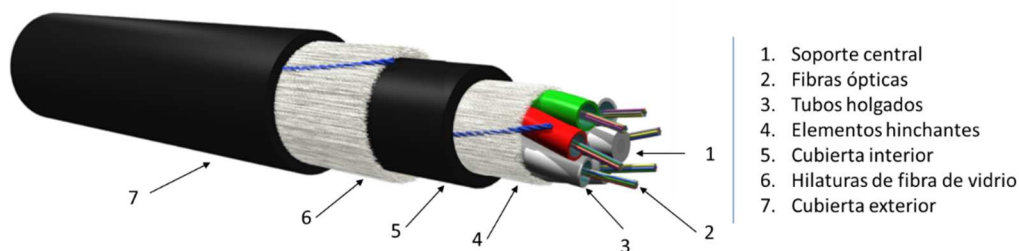


Figura 3: Diseño constructivo de cable de fibras ópticas

2.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA RESISTENTES AL FUEGO

Los cables de fibra óptica ignífugos estarán constituidos por los siguientes elementos:

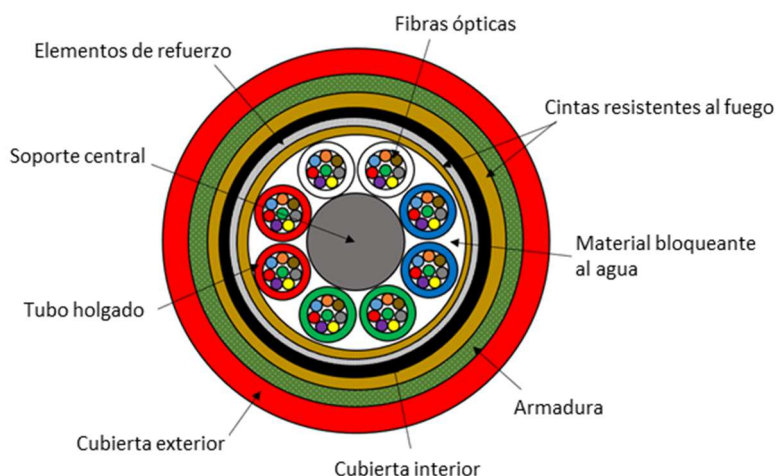


Figura 4: Construcción básica de cable de fibra óptica ignífugo

- *Elemento de refuerzo central*

El soporte central deberá soportar, entre otras, las tensiones mecánicas provocadas ante variaciones térmicas. Tendrá un coeficiente de dilatación térmico bajo y un módulo de compresión alto. Será de material dieléctrico y con las dimensiones apropiadas para el cableado de los tubos a su alrededor.

- *Primera protección. Revestimiento de las fibras*

Las fibras ópticas se revestirán con una primera protección ajustada de silicona multicapa, acrilato curado por ultravioleta u otro material de características similares coloreada, según código establecido.

- *Segunda protección. Tubos de alojamiento de las fibras*

Tras esta primera protección, se colocará una segunda protección de tipo holgado (loose tube) de material plástico (poliamida, polipropileno, PBT, o similar) de alto módulo de elasticidad, con un

diámetro exterior adecuado al número de fibras ópticas que ha de alojar y coloreada según el código establecido.

- *Núcleo del cable óptico*

El núcleo de los cables se configurará cableando, en torno al elemento central de soporte, los tubos necesarios para completar el número de fibras ópticas requerido dentro del cable. El núcleo se rellenará con los elementos hinchantes necesarios (hilaturas, ligaduras y cintas) para conseguir un perfecto bloqueo al paso de agua entre los intersticios del núcleo.

- *Cinta resistente al fuego*

El núcleo de los cables se protegerá con cinta(s) inorgánicas resistentes al fuego (mica o similar). Dicha(s) cinta(s) estarán solapadas al menos un 10% protegiendo completamente el núcleo óptico.

- *Elemento de refuerzo dieléctrico*

El cable deberá diseñarse con suficientes elementos de refuerzo de tracción para garantizar los requisitos de esta especificación. Este refuerzo de tracción estará constituido por hilaturas de fibra de aramida o fibra de vidrio. Estas hilaturas estarán distribuidas con tensión homogénea. Las hilaturas podrán incorporar un tratamiento bloqueante del agua para garantizar la estanqueidad de los cables.

- *Cubierta interior*

Estará constituida por una capa extruida de color negro de un material termoplástico no propagador del incendio, baja emisión de humos y sin contenido de halógenos a los efectos de la presente especificación. El espesor de la cubierta interior será de $1,2 \pm 0,1$ mm.

- *Armadura de acero*

Estará constituida por una cinta de acero de acero con recubrimiento de copolímero por ambas caras. El espesor mínimo de la armadura será de 0,15 mm y será aplicada con un solape mínimo de 5 mm.

- *Cubierta exterior*

Estará constituida por una capa extruida de color rojo, para mejor identificación frente a los cables convencionales, de material termoplástico no propagador del incendio, baja emisión de humos y sin contenido de halógenos a los efectos de la presente especificación. El espesor de la cubierta exterior será de $1,5 \pm 0,1$ mm.

Diseño:

- 1.-Fibras ópticas
- 2.-Tubo relleno de gel
- 3.-Elemento central de refuerzo dieléctrico
- 4.-Elementos hinchantes
- 5.-Cinta antifuego
- 6.-Hilaturas de fibra de vidrio

- 7.-Cubierta interior compuesto termoplástico ignífugo
- 8.-Cinta antifuego
- 9.Cinta acero corrugado
- 10.-Cubierta exterior compuesto termoplástico ignífugo.

En cables con distintos tipos de fibra, los primeros tubos, llevan fibras monomodo, y los siguientes tubos fibras multimodo.

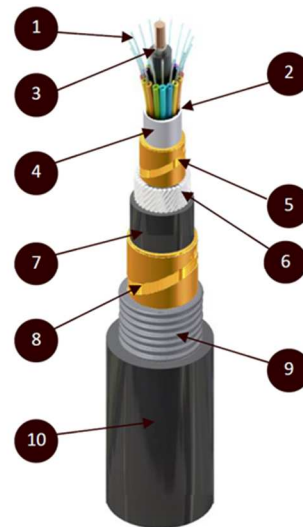


Figura 5: Diseño constructivo de cable de fibra ignífugo

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO

Los cables ópticos descritos en la presente especificación serán, por un lado, resistentes al fuego en sentido de garantizar la integridad de las transmisiones en una situación de incendio y por otro lado, presentarán características mejoradas de reacción al fuego (no propagación del incendio y baja opacidad de humos que no serán tóxicos ni corrosivos) según la tabla adjunta.

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES
Resistencia al fuego	90 min @750 °C s/IEC 60331-25
Reacción al fuego	Cca - s1b, d1, a1 s/EN 50575

Tabla 1: Características de reacción y resistencia al fuego

2.3 ESPECIFICACIONES MECÁNICAS DE LOS CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS

2.3.1 CABLES DE 12 FIBRAS POR TUBO

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR					
		12FO	24FO	48FO	96FO	144FO	288FO
Diámetro, aprox.	mm	12,5	12,5	12,5	13,5	16,5	19,5
Peso, aprox.	kg/km	125	125	150	250	300	450
Nº de tubos		1	2	4	8	12	9/15
Nº de rellenos (negro)		5	4	2	-	-	0/0
Nº de fibras/tubo		12	12	12	12	12	12
Diámetro tubos aprox.	mm	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1/2,8

Tabla 2: Cables de 12 fibras. Especificaciones físicas en función del número de fibras ópticas

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES
Resistencia a la tracción en Operación (N)	≥ 1000 (EN 60794-1-21 E1) para cables de hasta 48 FO. ≥ 1500 (EN 60794-1-21 E1) para cables de más de 48 FO.
Resistencia a la tracción en Instalación (N)	≥ 1800 (EN 60794-1-21 E1) para cables de hasta 48 FO. ≥ 2700 (EN 60794-1-21 E1) para cables de más de 48 FO.
Resistencia al aplastamiento (N/dm)	≥ 2500 (EN 60794-21 E3)
Radio de Curvatura Mín. Operación (mm)	≥ 15 x Diámetro exterior (EN 60794-1-21 E11)
Radio de Curvatura Mín. Instalación (mm)	≥ 20 x Diámetro exterior (EN 60794-1-21 E11)
Rango de Temperatura en Operación	-30 °C a +60 °C (EN 60794-1-F1)
Penetración agua	Estanco (3 m / 1 m / 24 h. EN 60794-1-2 F5B)

Tabla 3: Cables de 12 fibras. Especificaciones físicas generales

2.3.2 CABLES DE 8 FIBRAS POR TUBO

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR				
		16FO	32FO	64FO	128FO	168FO
Diámetro, aprox.	mm	12,5	12,5	13,5	18,5	19,5
Peso, aprox.	kg/km	150	150	150	325	425
Nº de tubos activos		2	4	8	6/12	9/12
Nº de rellenos (negro)		4	2	0	2/0	0/0
Nº de fibras/tubo		8	8	8	8	8
Diámetro tubos aprox.	mm	2,1	2,1	2,1	2,1/2,8	2,1/2,8

Tabla 4: Cables de 8 fibras. Especificaciones físicas en función del número de fibras ópticas

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES
Resistencia a la tracción en Operación (N)	≥ 1000 (EN 60794-1-21 E1) para cables de hasta 32 FO. ≥ 1500 (EN 60794-1-21 E1) para cables de más de 32 FO.
Resistencia a la tracción en Instalación (N)	≥ 1800 (EN 60794-1-21 E1) para cables de hasta 32 FO. ≥ 2700 (EN 60794-1-21 E1) para cables de más de 32 FO.
Resistencia al aplastamiento (N/dm)	≥ 2500 (EN 60794-21 E3)
Radio de Curvatura Mín. Operación (mm)	≥ 15 x Diámetro exterior (EN 60794-1-21 E11)
Radio de Curvatura Mín. Instalación (mm)	≥ 20 x Diámetro exterior (EN 60794-1-21 E11)
Rango de Temperatura en Operación	-30 °C a +60 °C (EN 60794-1-F1)
Penetración agua	Estanco (3 m / 1 m / 24 h. EN 60794-1-2 F5B)

Tabla 5: Cables de 8 fibras. Especificaciones físicas generales

2.4 CÓDIGO DE COLORES DE LAS FIBRAS

Los colores de las fibras ópticas dentro de cada tubo será el siguiente:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verde	Rojo	Azul	Amarillo	Gris	Violeta	Marrón	Naranja	Blanco	Negro	Rosa	Turquesa

Figura 6: Colores de las fibras ópticas en tubos de 12 fibras

1	2	3	4	5	6	7	8
Verde	Rojo	Azul	Amarillo	Gris	Violeta	Marrón	Naranja

Figura 7: Colores de las fibras en tubos de 8 fibras

2.5 CÓDIGO DE COLORES DE LOS TUBOS

Los colores y número de los tubos dentro del cable será el siguiente:

		Nº DE TUBOS														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nº DE FIBRAS	12	B														
	24	B	R													
	48	B	R	A	V											
	144	B	B	B	R	R	R	A	A	A	V	V	V			
	288(1ª)	B	B	B	R	R	R	A	A	A						
	288(2ª)	B	R	A	V	B	R	A	V	B	R	A	V	B	R	A

Figura 8: Colores de los tubos de fibra en base 12

		Nº DE TUBOS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nº DE FIBRAS	8	B												
	16	B	R											
	32	B	R	A	V									
	64	B	B	R	R	A	A	V	V					
	168(1ª)	B	B	R	R	A	A	V	V					
	168(2ª)	B	R	A	V	B	R	A	V	B	R	A	V	B

Figura 9: Colores de los tubos de fibra en base 8

En el caso de existir tubos pasivos, estos serán de color negro.

En el caso de cables mixtos las fibras monomodo ocuparán los primeros tubos y las multimodo los restantes:

- Cable de 8/12 monomodo + 8/12 multimodo: Las fibras monomodo ocuparán el tubo de color blanco y las multimodo el de color rojo

- Cable de 16/24 monomodo + 16/24 multimodo: Las fibras monomodo ocuparán los tubos blanco y rojo y las multimodo los de color azul y verde

2.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS MONOMODO

Las fibras ópticas que incorporarán los cables deberán ser conformes con la especificación de requisitos correspondientes a las fibras ópticas monomodo dadas en las recomendaciones ITU-T G.652D, ISO/IEC 11801 amendment 2 (OS2) y en la IEC 60793-1 y 60793-2 (B1.3)

Las fibras ópticas cumplirán con las siguientes especificaciones:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	ESPECIFICACIONES
Diámetro del campo modal a 1310 nm	9 a $9,2 \pm 0,4 \mu\text{m}$
Diámetro del campo modal a 1550 nm	10 a $10,4 \pm 0,5 \mu\text{m}$
Atenuación a 1310 nm	$\leq 0,35 \text{ dB / km}$
Atenuación a 1550 nm	$\leq 0,22 \text{ dB / km}$
Atenuación a 1625 nm	$\leq 0,24 \text{ dB / km}$
Dispersión cromática entre 1285 y 1330 nm	$\leq 3 \text{ ps / nm}\cdot\text{km}$
Dispersión cromática a 1550 nm	$\leq 18 \text{ ps / nm}\cdot\text{km}$
Dispersión cromática a 1625 nm	$\leq 22 \text{ ps / nm}\cdot\text{km}$
Longitud de onda del cero de dispersión	entre 1300 nm y 1322 nm
Pendiente dispersión cero	$\leq 0,090 \text{ ps / nm}^2\cdot\text{km}$
PMD (Polarization Mode Dispersion)	$\leq 0.1 \text{ ps/vkm}$
Longitud de onda de corte	$\leq 1260 \text{ nm}$

Tabla 6: Características ópticas de las fibras monomodo

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	ESPECIFICACIONES
Diámetro del revestimiento	$125 \pm 1 \mu\text{m}$
No-circularidad del revestimiento	$\leq 1 \%$
Error concentricidad núcleo/revestimiento	$\leq 1 \mu\text{m}$
Diámetro recubrimiento primario	$245 \pm 10 \mu\text{m}$
No circularidad del recubrimiento primario	$\leq 6 \%$
Error concentricidad revestimiento/recubrimiento primario	$\leq 12,5 \mu\text{m}$
Curl (radio)	$\geq 4 \text{ m}$

Tabla 7: Características físicas de las fibras monomodo

2.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS MULTIMODO

Las fibras ópticas que incorporarán los cables deberán estar conformes con la especificación de requisitos correspondientes a las fibras ópticas multimodo dadas en las recomendaciones ITU-T G.651.1, ISO/IEC 11801 (OM4) y en la IEC 60793-2 (A1a.2).

Las fibras ópticas cumplirán con las siguientes especificaciones:

CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS	ESPECIFICACIONES
Atenuación a 850 nm	$\leq 2,8$ dB / km
Atenuación a 1300 nm	$\leq 0,8$ dB / km
Ancho de banda a 850 nm	≥ 1500 MHz.km
Ancho de banda a 1300 nm	≥ 500 MHz.km
Apertura numérica	$0,2 \pm 0,015$
Índice de refracción a 850 nm	1,482
Índice de refracción a 1300 nm	1,477

Tabla 8: Características ópticas de las fibras multimodo

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	ESPECIFICACIONES
Diámetro del núcleo	50 ± 2 μ m
No-circularidad del núcleo	$\leq 5\%$
Diámetro del revestimiento	125 ± 1 μ m
No-circularidad del revestimiento	$\leq 0,7\%$
Error de concentricidad núcleo-revestimiento	≤ 1 μ m
Diámetro recubrimiento primario	245 ± 10 μ m
No-circularidad del recubrimiento primario	$\leq 5\%$
Error de circularidad recubrimiento primario	$\leq 12,5$ μ m

Tabla 9: Características físicas de las fibras multimodo

2.8 CERTIFICACIÓN Y PRUEBAS

Todo el cableado de comunicaciones instalado, tanto de fibra óptica como de cobre debe ser certificado con equipamiento homologado del tipo Fluke bajo el estándar ISO 11801 (EN 50173), no admitiéndose certificaciones con otros estándares como los de TIA/EIA.

En las certificaciones solo se aceptarán certificados con resultado de “PASA” sin restricciones (no se admitirán resultados en “FALLO” o “PASA*”).

El resultado de las pruebas deberá entregarse tanto en el formato original (*.flw) como en pdf.

Cualquier otro método de medida o equipamiento de certificación a utilizar por parte del Contratista debe ser previamente aprobado por el Director de Obra.

2.8.1 FIBRA ÓPTICA

Cualquier enlace de fibra óptica instalado en la infraestructura de METRO deberá cumplir unos niveles mínimos de calidad en la transmisión de señal, por lo que el Contratista deberá obligatoriamente entregar en formato digital (PDF) la siguiente documentación, antes de dar el visto bueno a los trabajos y, obviamente, antes de que ningún servicio se proporcione por esa nueva conexión:

- Informe de medidas realizadas con el Reflectómetro Óptico (OTDR) en doble ventana y bidireccional. Se podrán usar bobinas de lanzamiento y de recepción de longitud suficiente para medir solamente en un sentido, pero en cualquiera de los casos siempre se deberán mostrar todas las pérdidas y reflexiones del tramo incluidos los eventos inicial y final, así como la longitud total del enlace.
- Informe de medidas realizadas con el Medidor de Atenuación (OLTS) indicando las pérdidas (en unidades dB) totales para cada fibra óptica en todas las longitudes de onda utilizadas.
- Informe de certificación del enlace en base a las medidas del OLTS y OTDR anteriores y siguiendo alguno de los estándares internacionales (por defecto si no se indica lo contrario se seguirá la norma ISO/IEC 11801 o equivalente).

La nomenclatura que se muestre en la documentación entregada debe coincidir con el etiquetado real.

Límites de recepción de enlaces

Los límites de aceptación de las medidas reflectométricas para fibra óptica monomodo OS2 serán los siguientes:

- Pérdida de conector LC/UPC $\leq 0,75$ dB, LC/APC $\leq 0,7$ dB
- Reflectancia conector en $1550 < -30$ dB para conector LC/UPC y < -50 dB en conector LC/APC
- Pérdida media máxima para empalme $0,20$ dB en ambas ventanas.
- Pérdida máxima por empalme en un sentido $0,35$ dB. (Las pérdidas de $0,35$ dB serán válidas siempre y cuando la media en ambos sentidos sea $< 0,20$ dB).
- Pérdida media de empalme de una ruta $0,15$ dB (aplicable a rutas con más de 3 empalmes).

- Pendiente máxima de tramo en 1310 nm 0,36 dB/km y en 1550 nm 0,24 dB/km (aplicable a distancia entre empalmes superiores a 500 m).

Los límites de aceptación de las medidas reflectométricas para fibra multimodo OM4 serán los siguientes:

- Media de pérdida de conector LC $\leq 0,8$ dB
- Reflectancia conector en 1300 < -50 dB
- Pendiente máxima en 850 nm 2,9 dB/km y en 1300 nm 0,9 dB/km medida desde enfrentador a enfrentador.