

## Fibra Óptica

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas.

Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor (plástico).

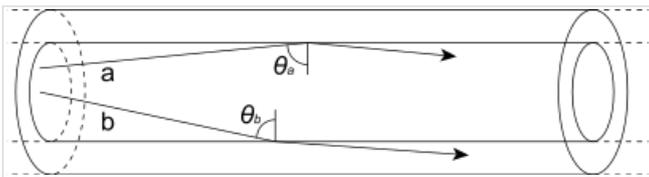
Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.

En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

### Funcionamiento

Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.



Representación de dos rayos de luz propagándose dentro de una fibra óptica. En esta imagen se percibe el fenómeno de reflexión total en el haz de luz "a".

### Ventajas

- Una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del GHz).
- Pequeño tamaño, por lo tanto ocupa poco espacio.
- Gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional.
- Inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas, chisporroteo...
- Gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía lumínica en recepción, además, no irradia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad.
- No produce interferencias.
- Insensibilidad a las señales parásitas, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metro). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.
- Atenuación muy pequeña independiente de la frecuencia, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios. Puede proporcionar comunicaciones hasta los 70 km antes de que sea necesario regenerar la señal, además, puede extenderse a 150 km utilizando amplificadores láser.
- Gran resistencia mecánica, lo que facilita la instalación.
- Resistencia al calor, frío y corrosión.
- Facilidad para localizar los cortes gracias a un proceso basado en la reflectometría, lo que permite detectar rápidamente el lugar donde se hará la reparación de la avería, simplificando la labor de mantenimiento.
- Factores ambientales.

### Desventajas

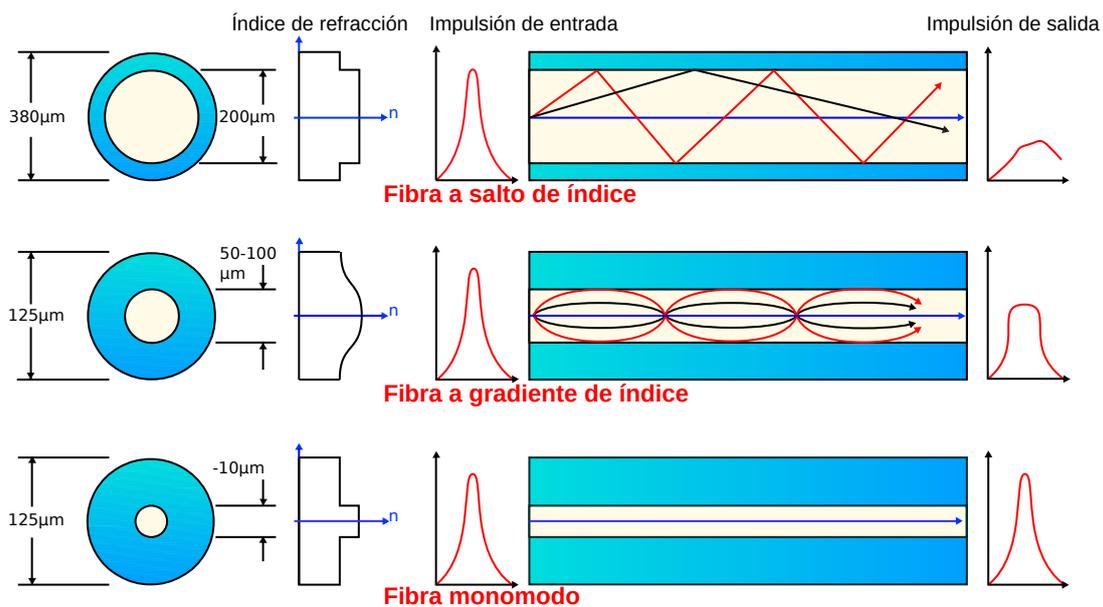
A pesar de las ventajas antes enumeradas, la fibra óptica presenta una serie de desventajas frente a otros medios de transmisión, siendo las más relevantes las siguientes:

- La alta fragilidad de las fibras.
- Necesidad de usar transmisores y receptores más costosos.

- Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de ruptura del cable.
- No puede transmitir electricidad para alimentar [repetidores](#) intermedios.
- La necesidad de efectuar, en muchos casos, procesos de conversión eléctrica-óptica.
- La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas.<sup>14</sup>
- No existen memorias ópticas.
- La fibra óptica no transmite energía eléctrica, esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica. La energía debe proveerse por conductores separados.
- Las moléculas de hidrógeno pueden difundirse en las fibras de silicio y producir cambios en la atenuación. El agua corroe la superficie del vidrio y resulta ser el mecanismo más importante para el envejecimiento de la fibra óptica.
- Incipiente normativa internacional sobre algunos aspectos referentes a los parámetros de los componentes, calidad de la transmisión y pruebas.

## Tipos

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.



Tipos de fibra óptica.

## Fibra multimodo

Una [fibra multimodo](#) es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

- Índice escalonado: en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.
- Índice gradual: mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales.

Además, según el sistema ISO 11801 para clasificación de fibras multimodo según su ancho de banda se incluye el +pichar (multimodo sobre láser) a los ya existentes OM1 y OM2 (multimodo sobre LED).

- OM1: Fibra 62.5/125  $\mu\text{m}$ , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), usa led como emisores.
- OM2: Fibra 50/125  $\mu\text{m}$ , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), usa led como emisores.

•OM3: Fibra 50/125  $\mu\text{m}$ , soporta hasta 10 Gigabit Ethernet (300 m), usa láser (VCSEL) como emisores. Bajo OM3 se han conseguido hasta 2000 MHz km (10 Gbit/s), es decir, una velocidad 10 veces mayor que con OM1.

## **Fibra monomodo**[editar]

Una [fibra monomodo](#) es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (10 Gbit/s)

Tipos según su diseño

---

De acuerdo a su diseño, existen dos tipos de cable de fibra óptica

### **Cable de estructura holgada**

Es un cable empleado tanto para exteriores como para interiores que consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo y provisto de una cubierta protectora. Cada tubo de fibra, de dos a tres milímetros de diámetro lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él. Los tubos pueden ser huecos o estar llenos de un gel hidrófugo que actúa como protector antihumedad impidiendo que el agua entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable.

Su núcleo se complementa con un elemento que le brinda resistencia a la tracción que bien puede ser de varilla flexible metálica o dieléctrica como elemento central o de hilaturas de Aramida o fibra de vidrio situadas periféricamente.

### **Cable de estructura ajustada**

Es un cable diseñado para instalaciones en el interior de los edificios, es más flexible y con un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada.

Contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, todo ello cubierto de una protección exterior. Cada fibra tiene una protección plástica extrusionada directamente sobre ella, hasta alcanzar un diámetro de 900  $\mu\text{m}$  rodeando al recubrimiento de 250  $\mu\text{m}$  de la fibra óptica. Esta protección plástica además de servir como protección adicional frente al entorno, también provee un soporte físico que serviría para reducir su coste de instalación al permitir reducir las bandejas de empalmes.

Componentes de la fibra óptica

---

Dentro de los componentes que se usan en la fibra óptica caben destacar los siguientes: los conectores, el tipo de emisor del haz de luz, los conversores de luz, etc.

Transmisor de energía óptica. Lleva un modulador para transformar la señal electrónica entrante a la frecuencia aceptada por la fuente luminosa, la cual convierte la señal electrónica (electrones) en una señal óptica (fotones) que se emite a través de la fibra óptica.

Detector de energía óptica. Normalmente es un fotodiodo que convierte la señal óptica recibida en electrones (es necesario también un amplificador para generar la señal)

Su componente es el silicio y se conecta a la fuente luminosa y al detector de energía óptica. Dichas conexiones requieren una tecnología compleja.

### **Tipos de pulido**

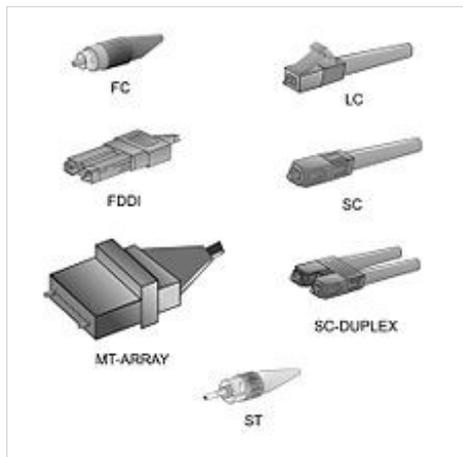
Los extremos de la fibra necesitan un acabado específico en función de su forma de conexión. Los acabados más habituales son:

- Plano: Las fibras se terminan de forma plana perpendicular a su eje.
- PC (Physical Contact): Las fibras son terminadas de forma convexa, poniendo en contacto los núcleos de ambas fibras.

- SPC (Super PC): Similar al PC pero con un acabado más fino. Tiene menos pérdidas de retorno.
- UPC (Ultra PC): Similar al anterior pero aún mejor.
- Enhanced UPC: Mejora del anterior para reducir las pérdidas de retorno.
- APC (Angled PC): Similar al UPC pero con el plano de corte ligeramente inclinado. Proporciona unas pérdidas similares al Enhanced UPC.

### Tipos de conectores

Estos elementos se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya puede ser un transmisor o un receptor. Los tipos de conectores disponibles son muy variados, entre los que podemos encontrar se hallan los siguientes:



Tipos de conectores de la fibra óptica.

- FC, que se usa en la transmisión de datos y en las telecomunicaciones.
- FDDI, se usa para redes de fibra óptica.
- LC y MT-Array que se utilizan en transmisiones de alta densidad de datos.
- SC y SC-Dúplex se utilizan para la transmisión de datos.
- ST o BFOC se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

### Emisores del haz de luz

Estos dispositivos se encargan de convertir la señal eléctrica en señal luminosa, emitiendo el haz de luz que permite la transmisión de datos, estos emisores pueden ser de dos tipos:

- LEDs. Utilizan una corriente de 50 a 100 mA, su velocidad de modulación es lenta, solo se suelen usar con fibras multimodo, pero su uso es fácil y su tiempo de vida es muy grande, además de ser económicos.
- Láseres. Este tipo de emisor usa una corriente de 5 a 40 mA, son muy rápidos, se puede usar con los dos tipos de fibra, monomodo y multimodo, pero por el contrario su circuitería es más compleja, su tiempo de vida es largo pero menor que el de los ledes y también son habitualmente más costosos, aunque en la actualidad hay productos de precio reducido y altas prestaciones. En la actualidad existen también láseres fabricados con fibra óptica amplificadora.

### Conversores luz-corriente eléctrica

Este tipo de dispositivos convierten las señales luminosas que proceden de la fibra óptica en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto, a la forma de onda de la señal moduladora.

Se fundamenta en el fenómeno opuesto a la recombinación, es decir, en la generación de pares electrón-hueco a partir de los fotones. El tipo más sencillo de detector corresponde a una unión semiconductor P-N.

Las condiciones que debe cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones, son las siguientes:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
  - Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
  - El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.
- Hay dos tipos de detectores: los fotodiodos PIN y los de avalancha APD.

•**Detectores PIN:** su nombre viene de que se componen de una unión P-N y entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco (I), la cual mejora la eficacia del detector.

Se utiliza principalmente en sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas.

•**Detectores APD:** los [fotodiodos de avalancha](#) son fotodetectores que muestran, aplicando un alto voltaje en inversa, un efecto interno de ganancia de corriente (aproximadamente 100), debido a la ionización de impacto (efecto avalancha). El mecanismo de estos detectores consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la energía suficiente), contra un átomo para que sea capaz de arrancarle otro electrón.

Estos detectores se pueden clasificar en tres tipos:

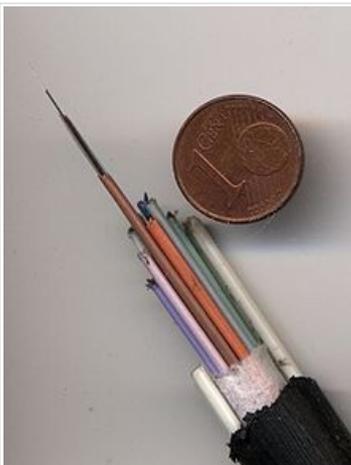
•de silicio: presentan un bajo nivel de ruido y un rendimiento de hasta el 90 % trabajando en primera ventana. Requieren alta tensión de alimentación (200-300V).

•de germanio: aptos para trabajar con longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm y con un rendimiento del 70 %.

•de compuestos de los grupos III y V de la tabla periódica.

Cables de fibra óptica

---



Sección de un cable de fibra óptica.



Conectores de [cable](#) de fibra óptica tipo ST.

Un [cable](#) de fibra óptica está compuesto por un grupo de fibras ópticas por el cual se transmiten señales luminosas. Las fibras ópticas comparten su espacio con hiladuras de aramida que le confieren la necesaria resistencia a la tracción.

Los cables de fibra óptica proporcionan una alternativa sobre los coaxiales en la industria de la electrónica y las telecomunicaciones. Así, un cable con 8 fibras ópticas tiene un tamaño mucho más pequeño que los utilizados

habitualmente, puede soportar las mismas comunicaciones que 60 cables de 1623 pares de cobre o 4 [cables coaxiales](#) de 8 tubos, todo ello con una distancia entre repetidores mucho mayor.

Por otro lado, el peso del cable de fibra óptica es muchísimo menor que el de los coaxiales, ya que una bobina del cable de ocho fibras antes citado puede pesar del orden de 30 kg/km, lo que permite efectuar tendidos de 2 a 4 km de una sola vez, mientras que en el caso de los cables de cobre no son prácticas distancias superiores a 250-300 m.

La “fibra óptica” no se suele emplear tal y como se obtiene tras su proceso de creación (tan sólo con el revestimiento primario), sino que hay que dotarla de más elementos de refuerzo que permitan su instalación sin poner en riesgo al vidrio que la conforma. Es un proceso difícil de llevar a cabo, ya que el vidrio es quebradizo y poco dúctil. Además, la sección de la fibra es muy pequeña, por lo que la resistencia que ofrece a romperse es prácticamente nula. Es por tanto necesario protegerla mediante la estructura que denominamos cable.

## **Funciones del cable**

Las funciones del cable de fibra óptica son varias. Actúa como elemento de protección de la(s) fibra(s) óptica(s) que hay en su interior frente a daños y fracturas que puedan producirse tanto en el momento de su instalación como a lo largo de la vida útil de ésta. Además, proporciona suficiente consistencia mecánica para que pueda manejarse en las mismas condiciones de tracción, compresión, torsión y medioambientales que los cables de conductores. Para ello incorporan elementos de refuerzo y aislamiento frente al exterior.

## **Instalación y explotación**

Referente a la instalación y explotación del cable, nos encontramos frente a la cuestión esencial de qué tensión es la máxima que debe admitirse durante el tendido para que el cable no se rompa y se garantice una vida media de unos 20 años.

Técnicas de empalme: Los tipos de empalmes pueden ser:

- Empalme mecánico con el cual se pueden provocar pérdidas del orden de 0,5 dB. El empalme mecánico KeyQuick® consigue una atenuación igual a la de la fusión por arco voltaico, 0,02 dB.
- Empalme con pegamentos con el cual se pueden provocar pérdidas del orden de 0,2 dB.
- Empalme por fusión de arco eléctrico con el cual se logran pérdidas del orden de 0,02 dB.

## **Elementos y diseño del cable de fibra óptica**

La estructura de un cable de fibra óptica dependerá en gran medida de la función que deba desempeñar esa fibra. A pesar de esto, todos los cables tienen unos elementos comunes que deben ser considerados y que comprenden: el revestimiento secundario de la fibra o fibras que contiene; los elementos estructurales y de refuerzo; la funda exterior del cable, y las protecciones contra el agua. Existen tres tipos de “revestimiento secundario”:

- “Revestimiento ceñido”: Consiste en un material (generalmente plástico duro como el nylon o el poliéster) que forma una corona anular maciza situada en contacto directo con el revestimiento primario. Esto genera un diámetro externo final que oscila entre 0,5 y 1 mm. Esto proporciona a la fibra una protección contra microcurvaturas, con la salvedad del momento de su montaje, que hay que vigilar que no las produzca ella misma.
- “Revestimiento holgado hueco”: Proporciona una cavidad sobredimensionada. Se emplea un tubo hueco extruido (construido pasando un metal candente por el plástico) de material duro, pero flexible, con un diámetro variable de 1 a 2 mm. El tubo aísla a la fibra de vibraciones y variaciones mecánicas y de temperatura externas.
- “Revestimiento holgado con relleno”: El revestimiento holgado anterior se puede rellenar de un compuesto resistente a la humedad, con el objetivo de impedir el paso del agua a la fibra. Además ha de ser suave, dermatológicamente inocuo, fácil de extraer, autorregenerativo y estable para un rango de temperaturas que oscila entre los -55 y los 85 °C. Es frecuente el empleo de derivados del petróleo y compuestos de silicona para este cometido.

## **Elementos estructurales**

Los elementos estructurales no son cable y tienen como misión proporcionar el núcleo alrededor del cual se sustentan las fibras, ya sean trenzadas alrededor de él o dispersándose de forma paralela a él en ranuras practicadas sobre el elemento a tal efecto.

## **Elementos de refuerzo**

Tienen por misión soportar la tracción a la que este se ve sometido para que ninguna de sus fibras sufra una elongación superior a la permitida. También debe evitar posibles torsiones. Han de ser materiales flexibles y, ya que se emplearán kilómetros de ellos han de tener un coste asequible. Se suelen utilizar materiales como el acero, Kevlar y la fibra de vidrio.

## **Funda**

Por último, todo cable posee una funda, generalmente de plástico cuyo objetivo es proteger el núcleo que contiene el medio de transmisión frente a fenómenos externos a este como son la temperatura, la humedad, el fuego, los golpes externos, etc. Dependiendo de para qué sea destinada la fibra, la composición de la funda variará. Por ejemplo, si va a ser instalada en canalizaciones de planta exterior, debido al peso y a la tracción bastará con un revestimiento de polietilenos extruidos. Si el cable va a ser aéreo, donde sólo importa la tracción en el momento de la instalación nos preocupará más que la funda ofrezca resistencia a las heladas y al viento. Si va a ser enterrado, queremos una funda que, aunque sea más pesada, soporte golpes y aplastamientos externos. En el caso de las fibras submarinas la funda será una compleja superposición de varias capas con diversas funciones aislantes.