

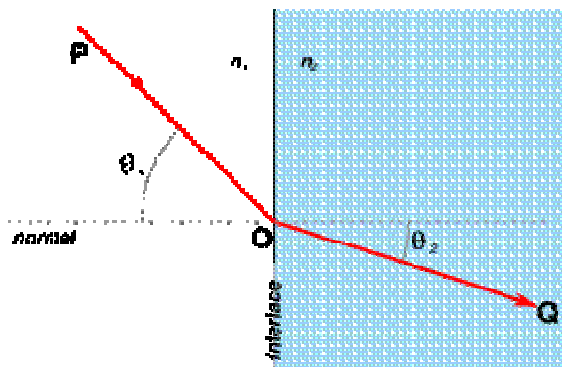
# FIBRAS ÓPTICAS

## Las fibras ópticas

Las fibras ópticas son conductos, rígidos o flexibles, de plástico o de vidrio (sílice), que son capaces de conducir un haz de luz inyectado en uno de sus extremos, mediante sucesivas reflexiones que lo mantienen dentro de sí para salir por el otro. Es decir, es una guía de onda y en este caso la onda es de luz.

La luz queda atrapada en este conducto y se propaga a la máxima velocidad posible a lo largo del mismo. La velocidad de propagación de la luz depende del tipo de material transparente empleado, ya que la máxima velocidad  $c = 299.792.458$  m/s sólo se alcanza en el vacío. En el resto de medios la propagación se produce a menor velocidad, la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en otro medio, se conoce como **índice de refracción** del medio y es característico de cada material.

El motivo físico por el cual la luz queda atrapada dentro del conducto, se basa en las leyes de reflexión y refracción de la luz, según las cuales, cuando un rayo atraviesa la frontera desde un medio físico transparente a otro también transparente, pero donde la velocidad de propagación es menor, la trayectoria del mismo varía, siguiendo una ley física conocida como Ley de Snell.



Este es el motivo de que cuando se mete un palo en el agua, éste parece doblarse.

Las aplicaciones son muy diversas llenando desde la transmisión de datos hasta la conducción de la luz solar hacia el interior de edificios, o hacia donde pudiera ser peligroso utilizar la iluminación convencional por presencia de gases explosivos. También es utilizada en medicina para transmitir imágenes desde dentro del cuerpo humano.

## Tipos de cable F.O.

El cable de fibra óptica se constituye principalmente de un núcleo rodeado de un revestimiento. La diferencia entre sus índices de refracción (indicados con **n**) es lo que hace que el haz de luz se mantenga dentro del núcleo (siempre que el haz haya entrado con el ángulo apropiado y el **n** del núcleo sea mayor que el del revestimiento).

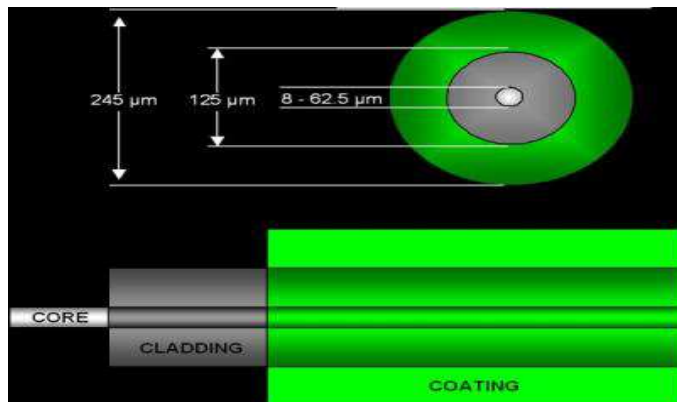
Entonces habrá cables con:

núcleo y revestimiento de plástico

núcleo de vidrio y revestimiento de plástico (PCS=plastic clad silica)

núcleo y revestimiento de vidrio (SCS=silica clad silica)

Los conductores de fibra óptica comúnmente utilizados en transmisión de datos son de un grosor comparable a un cabello, variando el núcleo entre los 8 y los 100  $\mu\text{m}$  (micrones), y el revestimiento entre 125 y 140  $\mu\text{m}$ .

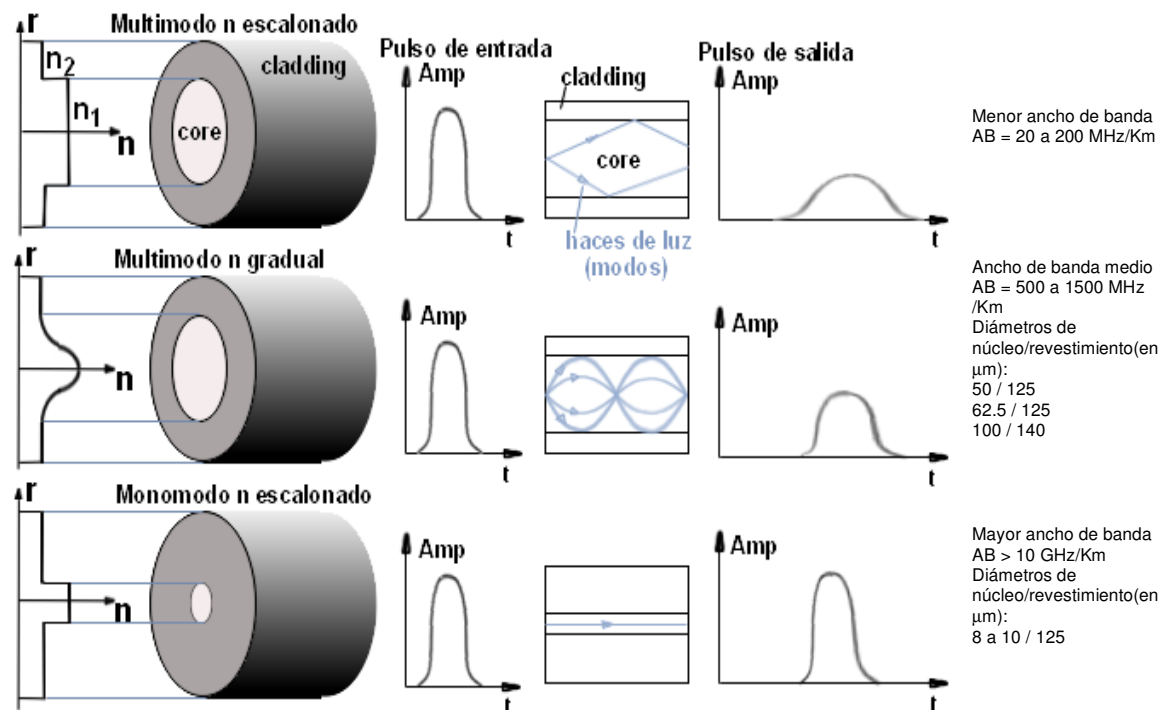


Adicionalmente, los conductores ópticos tienen un revestimiento de color (coating), que sigue un código de identificación o numeración, el cual varía según el fabricante/norma.

Existe otra clasificación, según la variación del índice de refracción dentro del núcleo, y según la cantidad de MODOS (haces de luz):

- Multimodo de índice escalonado [Multimode step index] **MM**
- Multimodo de índice gradual [Multimode graded index] **MM**
- Monomodo (índice escalonado) [Single Mode step index] **SM**

**Nota:** La cantidad de modos no es infinita y se puede calcular en base al radio del núcleo, la longitud de onda de la luz que se propaga por la fibra y la diferencia de índices de refracción entre núcleo y revestimiento.



Como se puede observar en la gráfica del centro de la figura anterior, en el núcleo de una fibra **multimodo de índice gradual** el índice de refracción es máximo en el centro y va disminuyendo radialmente hacia afuera hasta llegar a igualarse al índice del revestimiento justo donde éste comienza. Por esto es que los modos (haces) se van curvando como lo muestra el dibujo. Dado que la velocidad de propagación de un haz de luz depende del índice de refracción, sucederá entonces que los modos al alejarse del centro de la fibra por un lado viajarán más rápido y por otro, al curvarse, recorrerán menor distancia, resultando todo esto en un mejoramiento del ancho de banda respecto a la de índice escalonado.

Existe además un tipo de fibra denominada **DISPERSION SHIFTED (DS)** (dispersión desplazada) de la cual sólo se dirá aquí que no debe empalmarse con las comunes.

Recientemente ha surgido la fibra del tipo **NZD** (Non Zero Dispersión) la cual posee un núcleo más reducido ( $6\mu$ ) y requiere un cuidado especial al empalmarla.

### Fibras monomodo.

Son fibras con el núcleo de vidrio mucho más fino que en el siguiente caso, permitiendo el paso de un único haz de luz. Estas fibras tienen la característica de tener un alcance muy superior (hasta 10 Km) Para su correcto funcionamiento se precisan emisores láser más potentes y sofisticados, lo que encarece su uso.

Estas fibras se emplean fundamentalmente para conexiones de media, larga y muy larga distancia (desde 550m hasta 40km)

Las fibras monomodo no sufren tanto el fenómeno de la dispersión (ver apartado siguiente) como las multimodo ya que por la fibra sólo viaja un pulso de luz cada vez. También tiene menos **atenuación** (absorción parcial al ser reflejada en el revestimiento) lo que garantiza una transmisión de la señal más fidedigna.



Una de las desventajas de este tipo de fibras, es que al ser el núcleo mucho más estrecho que en las fibras multimodo, la conexión entre dos fibras tiene que ser mucho más precisa, encareciendo los conectores y el coste del cable en general.

Existen 3 tipos básicos de fibra monomodo: NDSF, DSF y NZ-DSF. Las diferencias entre los 3 tipos se basan principalmente en su adecuación para el funcionamiento con diferentes láser que funcionen en distintas longitudes de onda.

Por último, una familia de fibras monomodo, las PM (Polarization-maintaining), son capaces de transmitir sólo una polarización de la luz de entrada, lo cual tiene aplicaciones muy interesantes en la industria.

### Fibras multimodo.

Fibras que permiten el paso de varios haces de luz (modos) a través del núcleo, que se reflejan con distintos ángulos dentro del núcleo. Su alcance es limitado a construcciones con poca distancia entre ellas.

Este tipo de fibras tienen un núcleo (core) con un diámetro mucho mayor que el de las fibras monomodo.

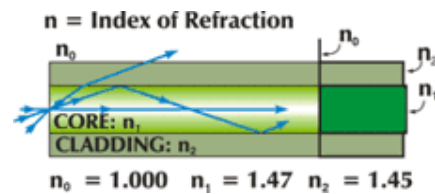
Dentro de las fibras multimodo, existen dos tipos principales, las de índice escalonado y las de índice gradual, que permiten un alcance ligeramente superior.

En las fibras de índice escalonado, se propagan varias ondas o modos diferentes a través de la fibra.

Unas ondas se propagan completamente paralelas al revestimiento, por el núcleo de la fibra

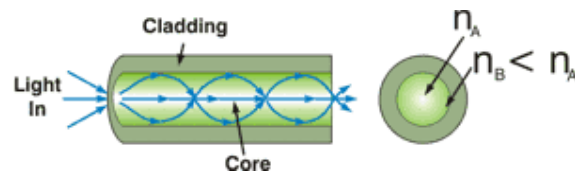
Otras se refleja continuamente, atrapadas por el fenómeno TIR

El resto, se refracta en el revestimiento



Intuitivamente se ve que las ondas que se reflejan, recorren mucha mayor distancia que las que se propagan por el núcleo sin reflejarse. Esto da lugar a un fenómeno, conocido como **dispersión** que produce atenuación de la señal transmitida. Este fenómeno es inevitable en la fibra óptica multimodo y es el ocasionante de que la longitud de estas fibras no pueda ser tan grande como la de las fibras monomodo.

En las fibras de índice gradual, el índice de refracción del núcleo decrece desde el centro hacia el revestimiento. Esto hace que se reduzca la dispersión, ya que los haces llegan casi al mismo tiempo, ya que cerca del revestimiento, los rayos se propagan más rápidamente que en el núcleo.



## Transmisión por Fibras Ópticas

La transmisión por FO consiste en convertir una señal eléctrica en una óptica, que puede estar formada por pulsos de luz (digital) o por un haz de luz modulado (analógica). La señal saliente del transmisor, se propaga por la fibra hasta llegar al receptor, en el cual se convierte la señal nuevamente a eléctrica.

## Ventanas y LASERs

La transmisión de información a través de fibras ópticas se realiza mediante la modulación (variación) de un haz de luz invisible al ojo humano, que en el espectro ("color" de la luz) se sitúa por debajo del infra-rojo.

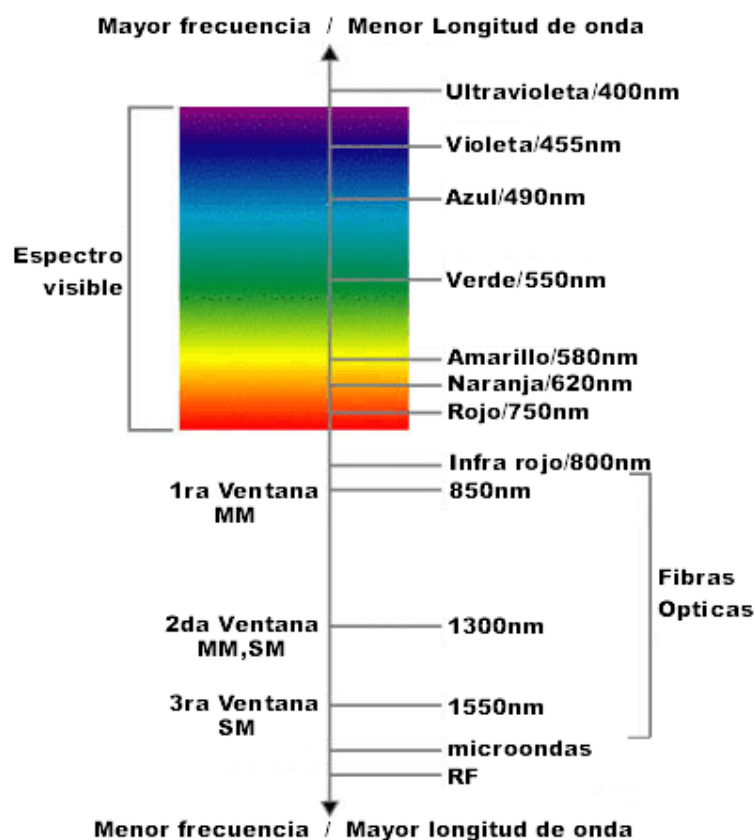
Si bien es invisible al ojo humano, hay que evitar mirar directamente y de frente una fibra a la cual se le esté inyectando luz, puesto que puede dañar gravemente la visión.

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda ( $\lambda$ ), expresadas en nanómetros:

Primera ventana 800 a 900 nm  $\lambda_{\text{utilizada}} = 850\text{nm}$

Segunda ventana 1250 a 1350 nm  $\lambda_{\text{utilizada}} = 1310\text{nm}$

Tercera ventana 1500 a 1600 nm  $\lambda_{\text{utilizada}} = 1550\text{nm}$



## LASER

Para poder transmitir en una de estas ventanas es necesaria una fuente de luz "coherente", es decir de una única frecuencia (o longitud de onda), la cual se consigue con un componente electrónico denominado LD ó diodo LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Este

componente es afectado por las variaciones de temperatura por lo que deben tener un circuito de realimentación para su control.

También pueden usarse diodos LED.

## **Detectores ópticos**

Como receptores ópticos se utilizan fotodiodos APD o diodos pin (PIN-PD) que poseen alta sensibilidad y bajo tiempo de respuesta.

El APD también requiere de un ajuste automático ante variaciones de temperatura.

## **Ventajas de la tecnología de la fibra óptica**

### **Baja Atenuación**

Las fibras ópticas son el medio físico con menor atenuación. Por lo tanto se pueden establecer enlaces directos sin repetidores, de 100 a 200 Km con el consiguiente aumento de la fiabilidad y economía en los equipamientos.

### **Gran ancho de banda**

La capacidad de transmisión es muy elevada, además pueden propagarse simultáneamente ondas ópticas de varias longitudes de onda que se traduce en un mayor rendimiento de los sistemas. De hecho 2 fibras ópticas serían capaces de transportar, todas las conversaciones telefónicas de un país, con equipos de transmisión capaces de manejar tal cantidad de información (entre 100 MHz/Km a 10 GHz/Km).

La fibra óptica proporciona un ancho de banda significativamente mayor que los cables de pares (UTP / STP) y el Coaxial. Aunque en la actualidad se están utilizando velocidades de 1,7 Gbps en las redes públicas, la utilización de frecuencias más altas (luz visible) permitirá alcanzar los 39 Gbps. El ancho de banda de la fibra óptica permite transmitir datos, voz, vídeo, etc.

### **Peso y tamaño reducidos**

El diámetro de una fibra óptica es similar al de un cabello humano. Un cable de 64 fibras ópticas, tiene un diámetro total de 15 a 20 mm. y un peso medio de 250 Kg/km. Si comparamos estos valores con los de un cable de 900 pares calibre 0.4 (peso 4,000 Kg/Km y diámetro 40 a 50 mm) se observan ventajas de facilidad y costo de instalación, siendo ventajoso su uso en sistemas de ductos congestionados, cuartos de computadoras o el interior de aviones.

### **Gran flexibilidad y recursos disponibles**

Los cables de fibra óptica se pueden construir totalmente con materiales dieléctricos, la materia prima utilizada en la fabricación es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) que es uno de los recursos más abundantes en la superficie terrestre.

### **Aislamiento eléctrico entre terminales**

Al no existir componentes metálicos (conductores de electricidad) no se producen inducciones de corriente en el cable, por tanto pueden ser instalados en lugares donde existen peligros de cortes eléctricos.

### Ausencia de radiación emitida

Las fibras ópticas transmiten luz y no emiten radiaciones electromagnéticas que puedan interferir con equipos electrónicos, tampoco se ve afectada por radiaciones emitidas por otros medios, por lo tanto constituyen el medio más seguro para transmitir información de muy alta calidad sin degradación.

### Costo y mantenimiento

El costo de los cables de fibra óptica y la tecnología asociada con su instalación ha caído drásticamente en los últimos años. Hoy en día, el costo de construcción de una planta de fibra óptica es comparable con una planta de cobre. Además, los costos de mantenimiento de una planta de fibra óptica son muy inferiores a los de una planta de cobre. Sin embargo si el requerimiento de capacidad de información es bajo la fibra óptica puede ser de mayor costo.

Las señales se pueden transmitir a través de zonas eléctricamente ruidosas con muy bajo índice de error y sin interferencias eléctricas.

Las características de transmisión son prácticamente inalterables debido a los cambios de temperatura, siendo innecesarios y/o simplificadas la ecualización y compensación de las variaciones en tales propiedades. Se mantiene estable entre  $-40$  y  $200^{\circ}\text{C}$ .

Por tanto dependiendo de los requerimientos de comunicación la fibra óptica puede constituir el mejor sistema.

### Desventajas de la fibra óptica

El costo de la fibra sólo se justifica cuando su gran capacidad de ancho de banda y baja atenuación son requeridos. Para bajo ancho de banda puede ser una solución mucho más costosa que el conductor de cobre.

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.

## Conectores para Fibras Opticas

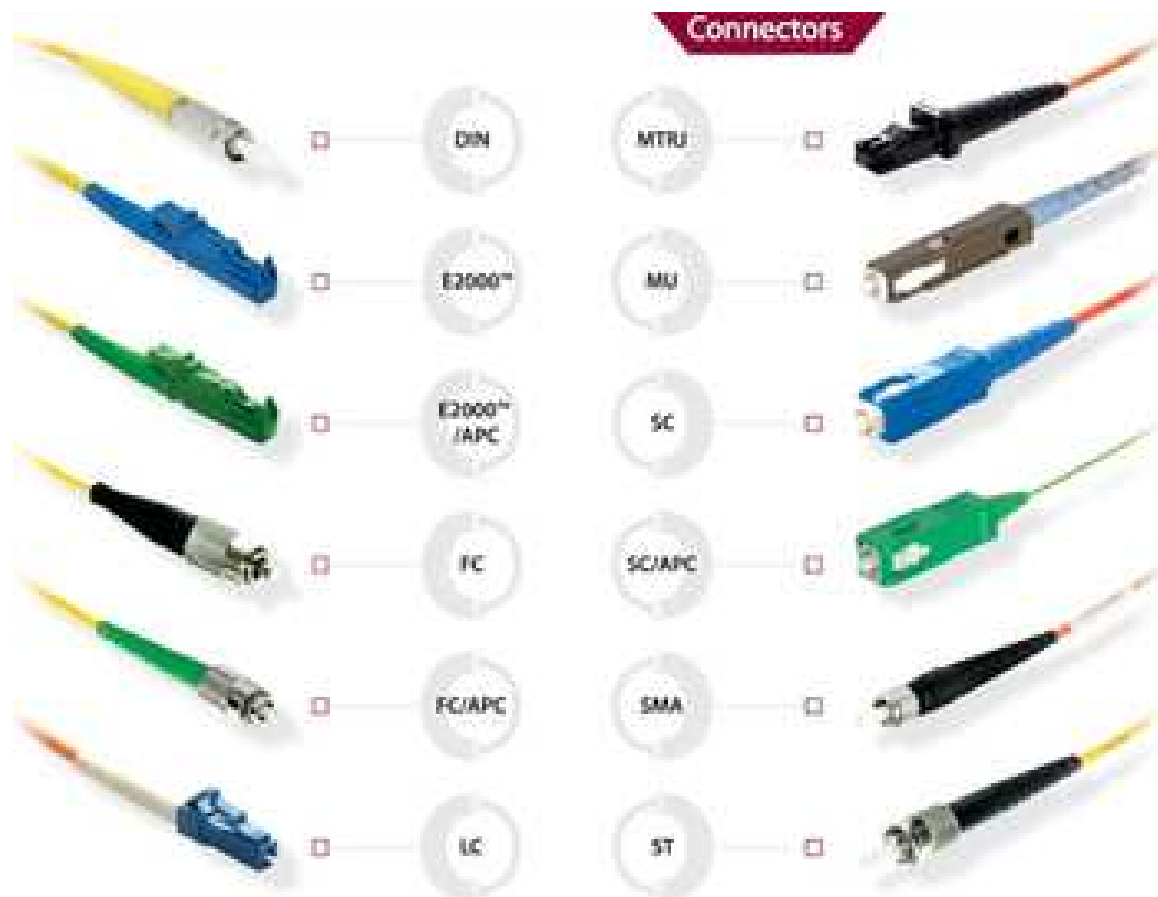
Para poder conectar un cable de fibra a un equipo es necesario que en cada fibra se arme un conector, o bien, cada fibra se empalme con un **PIGTAIL**, que es un cable de una sola fibra que posee un conector en una de sus puntas, armado en fábrica.

### *Jumper*



(la mitad de un jumper es un pigtail)

Existe una gran variedad de conectores que se diferencian por sus aplicaciones o simplemente por su diseño:



### **Acopladores o adaptadores** (adapter, coupling, bulkhead, interconnect sleeve)

Son como pequeños tambores o cajas que reciben un conector de cada lado produciendo el acople óptico, con la mínima pérdida posible.

Se utilizan en los distribuidores, para facilitar la desconexión y cambio rápido, acoplando el pigtail que se haya empalmado al cable de fibra con el patchcord que se conecta a los equipos receptores/emisores. También se usan para conectar un tramo de fibra a los equipos de medición.



DIN	
FC	 MPC
SMA	
SC	
ST	
Euro 2000	 LSH y LSH-HRL

#### Adaptadores Híbridos

DIN a E2000 PC	
E2000 a FC/PC	
E2000 a SC/PC	
E2000 a ST/PC	



## Ejemplos de fibra óptica

### Cable submarino

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

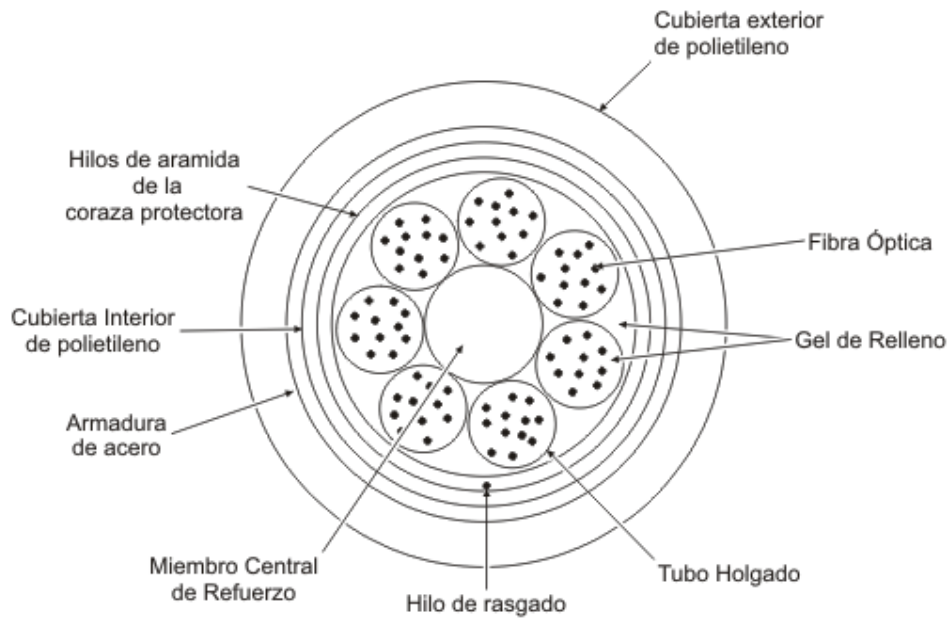


### Cable aéreo autoportante

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

### Cable blindado

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



*Cable de fibra óptica con armadura*

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

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

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

#### **Cables híbridos**

Es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

#### **Cable en abanico**

Es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conexión directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones).