

La Fibra Óptica

Los sistemas clásicos de comunicación utilizan señales eléctricas soportadas por cable coaxial, radio, etc., según el tipo de aplicación. Estos sistemas presentan algunos inconvenientes que hacen necesario buscar otras vías para la transmisión de datos.

Los sistemas de comunicación por fibra óptica utilizan la energía luminosa como soporte. Presentan un conjunto importante de ventajas sobre otros soportes utilizados en la transmisión de señales analógicas y digitales. Entre ellas están:

- *Gran ancho de banda*, lo que permite la transmisión de un gran volumen de información.
- *Atenuación baja*. Permite realizar enlaces de mayor longitud sin necesidad de repetidores. La atenuación depende del tipo de fibra óptica y de la longitud de onda utilizada.
- *Inmunidad a interferencias electromagnéticas*. La fibra óptica es absolutamente inmune a las radiointerferencias e impulsos electromagnéticos, presentando un menor índice de errores en la transmisión de señales digitales. Esto es de gran importancia en aplicaciones de control industrial donde se genera gran cantidad de ruido.
- *Seguridad y aislamiento eléctrico*. En determinadas aplicaciones para ambientes peligrosos (ambientes explosivos o inflamables) o en electromedicina, las fibras ópticas son imprescindibles debido a la imposibilidad de producir descargas eléctricas o chispas.
- *Menor peso y volumen*. Comparando las fibras ópticas y los cables coaxiales necesarios para obtener las mismas prestaciones, las primeras ocupan un volumen muy inferior y tienen menor peso.
- *Seguridad frente a posibles intervenciones de la línea*. Aunque no es imposible ‘pinchar’ una fibra óptica, esto es más difícil que en otros soportes y normalmente se puede detectar la intervención.

La fibra óptica también presenta algunos inconvenientes que no hay que olvidar. Por ejemplo:

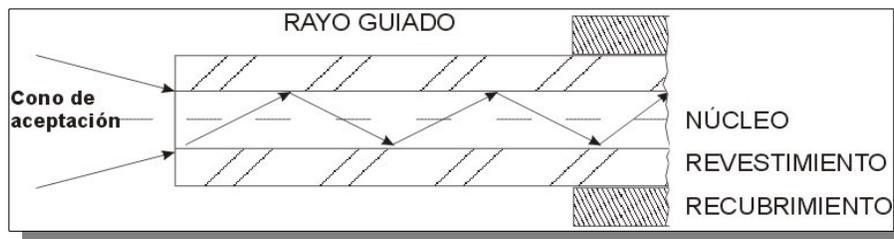
- *No hay una estandarización de los productos*, lo que plantea problemas de compatibilidad.
- *Las técnicas de empalme son complejas* y necesitan de equipos muy caros y personal muy cualificado.
- *La instalación de los conectores es compleja* y requiere un personal con formación adecuada.

- *La fibra óptica puede ser dañada.* Al igual que el cable de cobre, la fibra óptica puede ser deteriorada por excavaciones, corrimiento de tierras, vandalismo y accidentes.

Conceptualmente, y en determinados aspectos, un sistema por fibra óptica es similar a un sistema de microondas vía radio. Las principales diferencias son la frecuencia y el medio de transmisión.

Fundamentos sobre Fibra Óptica.

Una fibra óptica consiste en un filamento transparente llamado núcleo, cuyo diámetro está entre 8 y 600 micras dependiendo del tipo de fibra óptica, y un revestimiento exterior, ambos de cuarzo o plástico, más una cubierta protectora de material plástico. La luz incidente en un extremo de la fibra se propaga por su interior, sufriendo múltiples reflexiones, y sale por el otro extremo como se indica en la figura.



A las ondas luminosas se las referencia por su longitud de onda, que está relacionada con la frecuencia mediante la expresión :

$$l = c / f$$

Donde l es la longitud de onda, c la velocidad de la luz y f es la frecuencia.

Debido a que la longitud de onda de las ondas electromagnéticas que se propagan (infrarrojo y visible) es muy pequeña, el estudio de la propagación en el interior de la fibra puede efectuarse con el modelo de rayos luminosos y leyes de la óptica geométrica.

Según estas leyes, al incidir un rayo luminoso sobre una superficie de separación entre dos medios de distinto índice de refracción (núcleo y revestimiento en una fibra óptica), una parte del rayo se refleja y otra se refracta. Dependiendo de las constantes de refracción de los materiales, existe un ángulo máximo de incidencia de la luz sobre el extremo de la fibra para el cual toda la luz incidente se propaga. Este ángulo se llama

ángulo de aceptación y su seno se conoce como apertura numérica (NA). Cualquier onda que entre con un ángulo mayor que el de aceptación escapará a través del revestimiento.

El concepto de apertura numérica se usa para describir la potencia colectora de luz de la fibra y para calcular la eficiencia de acoplo fuente / fibra. Está definido como:

$$NA = \text{sen} \alpha_{\text{máx}} \sqrt{n_n^2 - n_r^2}$$

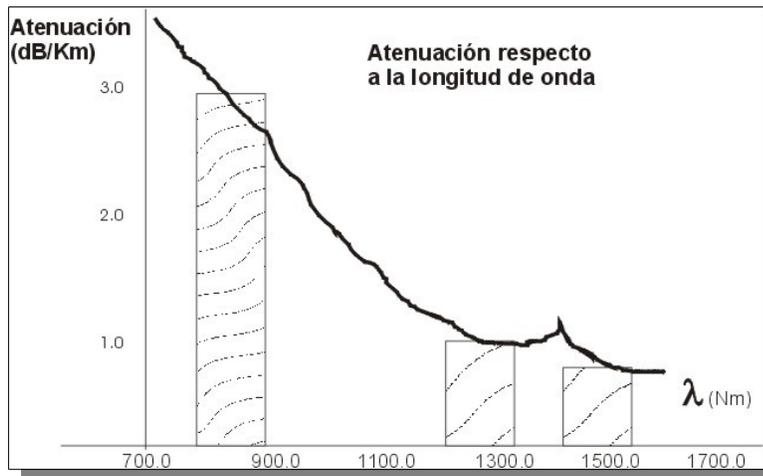
en donde $\alpha_{\text{máx}}$, representa el máximo ángulo de aceptación, n_n y n_r son los índices de refracción del núcleo y del revestimiento respectivamente.

Como ya hemos dicho, los dispositivos empleados en aplicaciones optoelectrónicas funcionan en la banda óptica del espectro electromagnético. La banda del espectro óptico se divide en:

- *Ultravioleta*, con longitudes de onda entre 0,6 y 380 nm (nanómetros).
- *Espectro visible*. Es la banda estrecha del espectro electromagnético formada por las longitudes de onda a las que es sensible el ojo humano. Corresponde al margen de longitudes de onda entre 350 y 750 nm.
- *Infrarrojo*, con longitudes de onda entre 750 nm y 1 mm.

Los sistemas de comunicación óptica utilizan la parte de la banda infrarroja más cercana al espectro visible. La selección de la longitud de onda se realiza teniendo en cuenta la disponibilidad de dispositivos adecuados (emisores, receptores, ..) y fibras ópticas con bajas pérdidas.

La atenuación sufrida por una señal luminosa (en función de la longitud de onda) en el interior de una fibra óptica corresponde a la gráfica adjunta.



Actualmente se trabaja en las tres bandas de frecuencia marcadas en la figura, y que se conocen con el nombre de ventanas:

- 1ª ventana : 850 nm
- 2ª ventana : 1300 nm
- 3ª ventana : 1550 nm

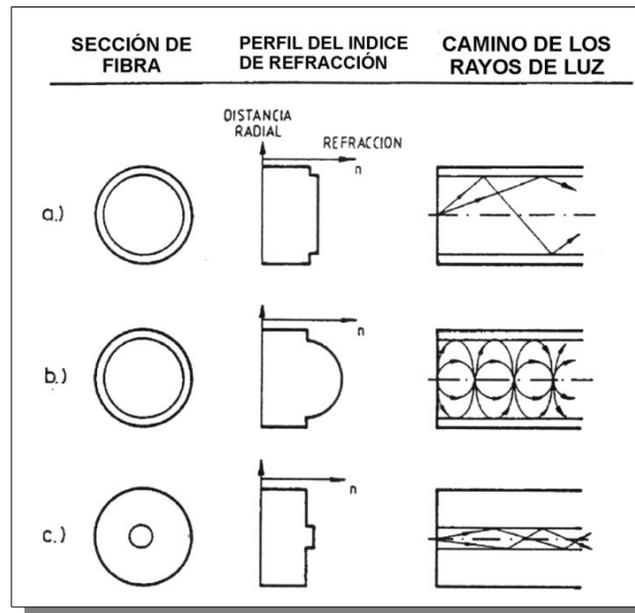
En algunas aplicaciones sencillas de control industrial se utilizan señales dentro del espectro visible, ya que si bien las fibras presentan mayor atenuación, el hecho de poder detectar posibles fallos por inspección visual es muy útil para usuarios carentes de instrumentación.

Tipos de fibra óptica.

Dependiendo del tipo de propagación de la señal Luminosa en el interior de la fibra, estas se clasifican en los siguientes grupos:

- **Fibra multimodo de salto de índice :** El guiado de la señal luminosa está causado por la reflexión total en la superficie de separación entre el núcleo y el revestimiento. Señales incidentes con un ángulo cuyo seno sea inferior a la apertura numérica, provocan la aparición de multitud de modos (o dicho de forma más intuitiva, de multitud de rayos y ángulos de reflexión) propagándose por el interior de la fibra (Figura a). Esta es la razón del término multimodo para describir el tipo de fibra.

Este tipo de fibras son las más utilizadas en enlaces de distancias cortas, hasta 1 km, y su aplicación más importante está en las redes locales.



- **Fibra multimodo de índice gradual** : En este caso el cambio de índice de refracción en el interior de la fibra es gradual, lo que provoca una propagación ondulada del rayo de luz (figura b)

Estas fibras provocan menos modos de propagación que las de salto de índice y son las empleadas hasta 10 Km.

- **Fibras monomodo** : Es el caso conceptualmente más simple, ya que se trata de una fibra de salto de índice pero de un diámetro del núcleo tan pequeño (inferior a 10 micras) que solo permite la propagación de un modo, el fundamental (Figura c). Este tipo de fibra es el que permite obtener mayores prestaciones y se usa en enlaces de gran distancia. Estas fibras presentan, no obstante, algunas desventajas, como la mayor dificultad para inyectar la señal luminosa a la fibra (apertura numérica típica de $0.1 >$ ángulo de incidencia de 120°), mayor sensibilidad a errores mecánicos, malos tratos, empalmes defectuosos, etc.

Generalmente se utilizan las fibras multimodo en la primera y segunda ventanas, y monomodo en la segunda y tercera ventanas.

Emisores y detectores.

Los dispositivos utilizados como emisores y detectores de radiación luminosa en los sistemas de comunicaciones ópticas son el láser de semiconductores (diodo láser) y el LED (diodo electroluminiscente). Ningún otro tipo de fuente óptica puede modularse

directamente a las altas velocidades de transmisión requeridas, con tan baja excitación y tan baja salida. En función del sistema, escogemos uno u otro. El láser ofrece mejor rendimiento en anchos de banda grandes y largos alcances. Para anchos de banda menores y cortas distancias se suele escoger el LED, pues tanto el circuito de ataque como el de control son más sencillos.

Los componentes utilizados para emitir luz en la ventana de los 850 nm, son galio (Ga), aluminio (Al) y arsénico (As); si agregamos indio (In) y fósforo (P) podemos emitir en las ventanas de los 1300 y 1500 nm.

Emisores.

- **LED** : El proceso de generación de luz en un LED se basa en el efecto de electroluminiscencia.

En un LED la luz se emite según los 360° que corresponden a una radiación esférica, pero en la práctica, esto queda limitado por la construcción metálica del diodo, la reflexión en el material utilizado y la absorción en el metal semiconductor.

Un ancho de banda típico de un LED es de 200 MHz, con rendimientos de 50 mW/mA. Los LED presentan un espectro de emisión más ancho que los láser. Un LED de 850 nm. tiene un ancho entre 30 y 50 nm.

- **DIODO LÁSER** : El proceso de generación de luz en un diodo láser es similar al del LED, pero con un volumen de generación menor y una alta concentración de portadores inyectados. Se consigue así una elevada ganancia óptica y un espectro de emisión muy estrecho que da lugar a luz coherente.

La luz de este tipo de láser puede acoplarse fácilmente a una fibra multimodo juntando simplemente a tope un extremo de la raya del láser contra el extremo del núcleo de la fibra, que tiene un diámetro mucho mayor. También puede acoplarse a una fibra monomodo.

Detectores

Básicamente el detector es un dispositivo que convierte fotones en electrones. Los fotodetectores utilizados en las comunicaciones ópticas son el fotoconductor, el diodo PIN y el fotodiodo de avalancha (APD). La mayor parte de sistemas instalados usan diodos PIN.

- **PIN** : El fotodiodo PIN es el detector mas utilizada en los sistemas de comunicación óptica. Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de tensión. Además es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismo de ganancia.

El diodo PIN se compone básicamente de unas zonas p y n altamente conductoras junto a una zona intrínseca poco conductiva. Los fotones entran en la zona intrínseca generando pares electrón-hueco. El diodo se polariza inversamente para acelerar las cargas presentes en esta zona intrínseca, que se dirigen a los electrodos, donde aparecen como corriente. El proceso es rápido y eficiente. Como no hay mecanismo de ganancia, la máxima eficiencia es la unidad y el producto ganancia por ancho de banda coincide con ésta última.

- **APD** : Los APD también son diodos polarizados en inversa, pero en este caso las tensiones inversas son elevadas, originando un fuerte campo eléctrico que acelera los portadores generados, de manera que estos colisionan con otros átomos del semiconductor y generan mas pares electrón-hueco. Esta ionización por impacto determina la ganancia de avalancha.

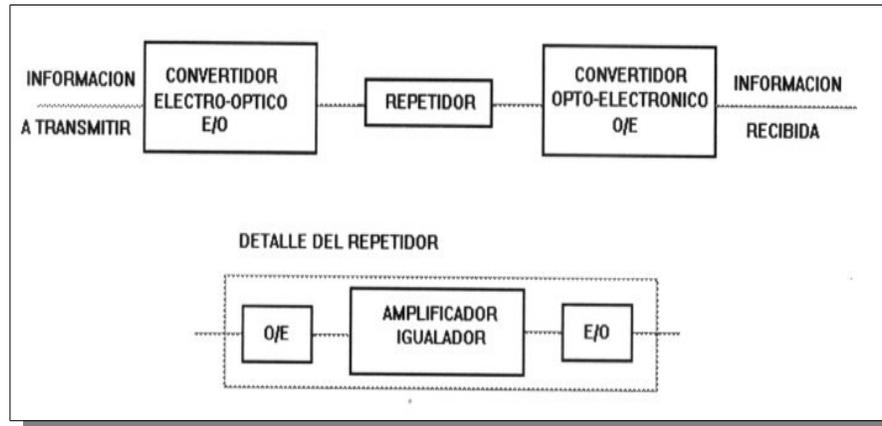
La ganancia de un APD tiene influencia sobre el ancho de banda. El máximo ancho de banda se da para ganancia 1. Con ganancias mas elevadas, el ancho de banda se reduce debido al tiempo necesario para que se forme la fotoavalancha.

Elementos en un sistema de fibra óptica.

Estos sistemas están compuestos por un transmisor, cuya misión es la de convertir la señal eléctrica en señal óptica susceptible de ser enviada a través de una fibra óptica. En el extremo opuesto de la fibra óptica se encuentra el receptor, cuya misión es la de convertir la señal óptica en señal eléctrica nuevamente.

El transmisor puede emplear un LED o un diodo láser como elemento de salida. A este elementos se los denomina conversores electro-ópticos (E/O).

El receptor consiste en un diodo PIN o un APD, que se acopla a la fibra óptica. Se le denomina convertidor opto-electrónico (O/E).



El tipo de modulación utilizado es el de amplitud, modulando la intensidad de luz generada por el emisor. Las no linealidades de los emisores y receptores al convertir las señales eléctricas a ópticas y viceversa, así como las fuentes de ruido que se superponen a la señal en los sistemas típicos de fibra óptica hacen que este sistema sea especialmente apropiado para la transmisión de señales digitales, que corresponde a los estados de encendido-apagado del emisor. No obstante también es posible transmitir señales analógicas.

Otros tipos de modulación, como modulación en frecuencia y demás sistemas coherentes están en fase de desarrollo, debido a la dificultad de obtener señales luminosas espectralmente puras y que al mismo tiempo puedan ser moduladas en frecuencia.

La señal óptica que se propaga a través de la fibra óptica se degrada por la atenuación y restricción de la anchura de banda de la fibra, y entonces, es preciso regenerar la señal transmitida. El mejor método es tratar la señal en forma eléctrica. Por lo tanto, Los conversores E/O y O/E son componentes indispensables en un repetidor óptico. El amplificador e igualador de la señal eléctrica son similares a los de los sistemas de transmisión convencionales.