

## 3. LA FIBRA ÓPTICA

### 3.1. Antecedentes

La utilización de la fibra óptica como medio transmisor es un hecho muy reciente. Sólo a partir del año 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra que resultó tan exitoso que apenas dos años después ya se producían grandes cantidades de pedidos de este material.

Fue fundamental para poder utilizar la fibra óptica como medio transmisor de luz, el descubrimiento y desarrollo de fuentes de luz puras. Esto ocurrió en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, cuando una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser y fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Esta forma de usar la luz como portadora de información no es en realidad del todo innovadora, se trata de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

El concepto de las comunicaciones por ondas luminosas ha sido conocido por muchos años. Sin embargo, no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico. Estos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente flexible y proveer así un análogo óptico de la señalización por alambres electrónicamente.

El problema técnico que se había de resolver para el avance de la fibra óptica residía en las fibras mismas, que absorbían luz que dificultaba el proceso. Para la comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales luminosas detectables por muchos kilómetros. El vidrio ordinario tiene un haz luminoso de pocos metros. Se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario. Estos vidrios empezaron a producirse a principios de los setenta. Este gran avance dio ímpetu a la industria de fibras ópticas. Se usaron láseres o diodos emisores de luz como fuente luminosa en los cables de fibras ópticas. Ambos han de ser miniaturizados para componentes de sistemas fibro-ópticos, lo que ha exigido considerable labor de investigación y desarrollo. Los láseres generan luz "coherente" intensa que permanece en un camino sumamente estrecho. Los diodos emiten luz "incoherente" que ni es fuerte ni concentrada. Lo que se debe usar depende de los requisitos técnicos para diseñar el circuito de fibras ópticas dado.

### 3.2. Nociones básicas sobre los conceptos físicos sobre los que se sustenta la fibra óptica

Antes de explicar directamente que es la fibra óptica, es conveniente resaltar ciertos aspectos básicos de óptica. La luz se mueve a la velocidad de la luz en el vacío, sin embargo, cuando se propaga por cualquier otro medio, la velocidad es menor. Así, cuando la luz pasa de propagarse por un cierto medio a propagarse por otro determinado medio, su velocidad cambia, sufriendo además efectos de reflexión (la luz rebota en el cambio de medio, como la luz reflejada en los cristales) y de refracción (la luz, además de cambiar el módulo de su velocidad, cambia de dirección de propagación, por eso se aprecia una cuchara como doblada cuando está en un vaso de agua, la dirección de donde procede la luz en la parte que está al aire no es la misma que la que está metida en el agua).

Dependiendo de la velocidad con que se propague la luz en un medio o material, se le asigna un Índice de Refracción "n", un número deducido de dividir la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en dicho medio. Los efectos de reflexión y refracción que se dan en la frontera entre dos medios dependen de sus Índices de Refracción. La ley más importante utilizada es la ley de Snell, como puede apreciarse en la Ecuación 1:

$$N_1 \cdot \sin(\theta_1) = N_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

Ecuación 1

La ley de Snell dice que el índice de refracción del primer medio, por el seno del ángulo con el que incide la luz en el segundo medio, es igual al índice del segundo medio por el seno del ángulo con el que sale propagada la luz en el segundo medio. De esta forma dados dos medios con índices  $N_1$  y  $N_2$ , si el haz de luz incide con un ángulo mayor que un cierto ángulo límite (que se determina con la anterior ecuación) el haz siempre se reflejara en la superficie de separación entre ambos medios. De esta forma se puede guiar la luz de forma controlada.

Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales), del espesor de un pelo (entre 10 y 300 micrones). Llevan mensajes en forma de haces de luz que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya (incluyendo curvas y esquinas) sin interrupción.

Las fibras ópticas pueden ahora usarse como los alambres de cobre convencionales, tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas (como los sistemas de largas líneas urbanas mantenidos por compañías telefónicas).

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total. La luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por dispersión de luz debida a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

Desde los primeros tiempos de la fibra óptica, se aseguraba que el nuevo medio de transmisión no serviría sólo para abaratar los costes de los servicios de telecomunicaciones del momento, sino que además permitiría mayores anchos de banda a más bajo coste. Estas predicciones se han cumplido y hoy la fibra óptica constituye el medio físico que soportará la red de servicios integrados de banda ancha. Algo que era inalcanzable con los medios de transmisión tradicionales.

Los sistemas de fibra óptica que fundamentalmente se aplican en la actualidad son los que enlazan las grandes centrales telefónicas. Se transmite una gran cantidad de información a largas distancias con lo que el coste por unidad de información transmitida es mucho menor que el que resulta de emplear los medios de transmisión tradicionales. Además, en el futuro se espera que cada fibra podrán transmitir muchísima más información ya que se conseguirán fuentes de luz suficientemente puras y dispositivos ópticos capaces de modularlas. No obstante, la limitación real de un sistema de comunicaciones que sustituyese totalmente los cables de cobre por cables de fibra óptica no está en el coste de la transmisión a larga distancia, sino en la transmisión desde el usuario a la central más próxima. El precio de los dispositivos transmisores y receptores de luz todavía tiene que disminuir bastante para que sea absolutamente rentable sustituir el par de cables de cobre del teléfono de cualquier abonado por un cable de fibra óptica.

En Estados Unidos y los diferentes países que componen la unión europea tanto las compañías telefónicas como las de televisión por cable están estudiando la forma de introducir la fibra óptica en la red de acceso (bucle de abonado). Se pretende elegir una arquitectura que permita la implantación de la banda ancha sin tener que volver a tender otra infraestructura de cables.

### 3.3. Modo de funcionamiento

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.

Los principios básicos de funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la reflexión (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 núcleo, 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.

### 3.4 Características de la fibra óptica

Su ancho de banda es muy grande, hay sistemas de multiplexación que permiten enviar 32 haces de luz a una velocidad de 10Gb/s cada uno por una misma fibra, dando lugar a una velocidad total de 320Gb/s.

Además, su atenuación es muy baja, es inmune al ruido electromagnético y la materia prima con la que se fabrica es muy abundante.

A pesar de todas las ventajas antes enumeradas, la fibra óptica presenta una serie de desventajas frente a otros medios de transmisión, las más importantes son:

- Fragilidad de las fibras.
- Necesidad de usar transmisores y receptores más caros.
- Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de rotura 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.
- No existen memorias ópticas.

### 3.5 Clases de fibra

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 se tienen dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

- Fibra multimodo: es una fibra que puede propagar más de un modo de luz. Puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km. Son simples de diseñar y económicas.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción inferior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento (corteza). 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:

- *Salto de índice*: En este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica.

- *Índice gradual*: En este tipo de fibras, el índice de refracción no es constante.

- Fibras monomodo: 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 que sólo permite un modo de propagación. Se utiliza en aplicaciones de larga distancia, más de 300 km. Son bastante más caras.