

INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS

Bibiana Mollinedo Rivadeneira

Revisión técnica de
Fernanda Hernández González

Al hablar de comunicaciones ópticas se hace referencia a un medio de transmisión que transporta la información en forma de pulsos de luz.

Dada la limitante física que postula que nada puede viajar más rápido que la luz, puede inferirse que la comunicación óptica es la más veloz conocida hasta el momento.

La fibra óptica que actúa como medio de transporte de este tipo de comunicaciones, además, es la que reporta mejores resultados frente al ruido, dado que, por un lado, es un material dieléctrico, es decir, que posee baja conductividad eléctrica por lo que la señal interior queda aislada de las

interferencias electromagnéticas externas. Por otro lado, debido a su estructura interna, tampoco genera inducción, y por consiguiente, no producirá diafonía. Finalmente, al funcionar en una frecuencia diferente que la radio frecuencia, es inmune a las interferencias de esta.

La fibra óptica frente a otros medios de transmisión

Frente a otros medios de transmisión, la fibra óptica presenta las siguientes diferencias:

- **Capacidad:** Los sistemas de comunicaciones ópticos poseen una capacidad de transmitir información significativamente superior a otros medios de transmisión, debido a la posibilidad de transportar numerosas señales de información de manera simultánea a través del mismo medio, lo que se traduce en mayor ancho de banda.
- **Tamaño y peso:** El diámetro y peso de un cable de fibra óptica es mucho menor que el de un cable de cobre con similar capacidad, lo que torna a la fibra más fácil de transportar e instalar.
- **Inmunidad a las interferencias:** La fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas o de radiofrecuencia y no genera interferencias por si misma.
- **Seguridad:** Un sistema de comunicaciones óptico no se puede intervenir por medio de mecanismos eléctricos convencionales, y difícilmente por medios ópticos, puesto que son fácilmente detectables.

- **Fiabilidad y mantenimiento:** Los enlaces de fibra óptica bien diseñados son inmunes a condiciones adversas de humedad y temperatura y se emplean incluso para cables subacuáticos. Se trata de enlaces de larga vida útil, y el mantenimiento requerido es menor al de otros medios de transmisión.
- **Versatilidad:** Los sistemas de comunicación ópticos son compatibles con la mayoría de los formatos de comunicaciones de datos, voz y vídeo.
- **Expansión:** Los sistemas de fibra óptica son escalables, por lo que se puede transformar un sistema de baja velocidad a uno de alta velocidad.
- **Regeneración de la señal:** Los enlaces de fibra óptica tienen un alcance mayor al de otros sistemas de comunicación antes de requerir un amplificador de señal, los que a su vez extienden significativamente dicho alcance.
- **Conversión electro-óptica:** Para transportar señales de información en un sistema óptico, las señales eléctricas deben convertirse en pulsos de luz, lo que requiere de equipamiento extra.
- **Caminos homogéneos:** Se requiere un camino físico dedicado para la instalación de enlaces de fibra óptica.
- **Instalación y mantenimiento:** Tanto para la instalación como mantenimiento de la fibra óptica se requieren técnicas y

equipamientos especiales, debido a la particularidad de los materiales que la componen, por lo que la reparación de un cable de fibra óptica dañado presenta una mayor complejidad de procedimiento que la reparación de un cableado convencional.

Aplicaciones

La fibra óptica se ha convertido en un medio de transmisión transversal a todas las comunicaciones, sin importar tipo de servicio, formato de datos, etc.

Se usan cables de fibra tanto para conectar distancias cortas como comunicaciones *inter-oficina*, así como grandes distancias intercontinentales, y en ambos casos a alta velocidad.

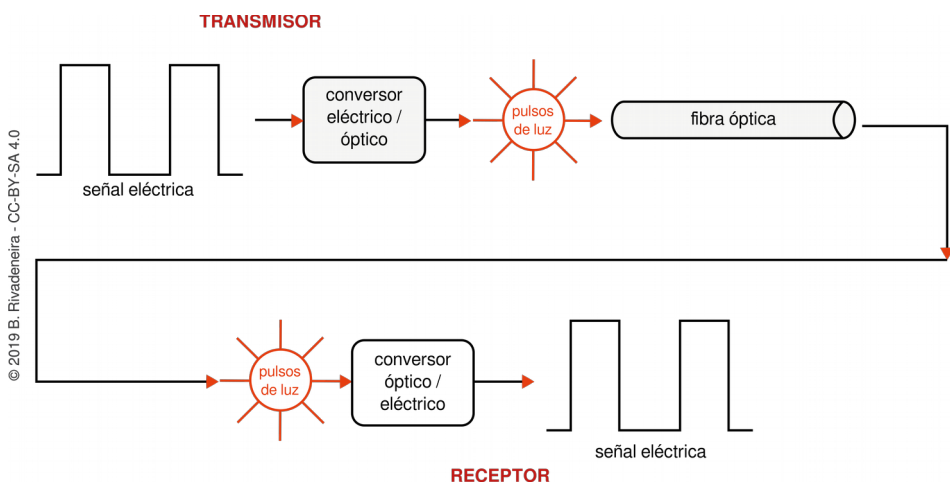
La infraestructura de los sistemas de telefonía y televisión se compone parcialmente de enlaces de fibra óptica en sus redes de distribución (redes híbridas como HFC), en particular la tendencia es llegar con fibra hasta el hogar, es decir hasta el abonado, coexistiendo con otros medios de transmisión “en el camino”.

Respecto a las redes de datos, o más específicamente la gran red de redes, o internet, son los enlaces de fibra óptica, en especial los submarinos los que permiten comunicaciones casi entre dos puntos cualesquiera del planeta.

Fundamentos de las comunicaciones ópticas

Un sistema de comunicaciones ópticas transporta la información a través de un medio, en forma de pulsos de luz, y en el transmisor y receptor se realizan

las adaptaciones correspondientes de la señal, como se muestra en el siguiente diagrama.



La señal se origina en el **transmisor**. Ésta, que es de naturaleza eléctrica, debe ser convertida a pulsos de luz para inyectarse en el canal de comunicación. Para ello se usa un conversor eléctrico-óptico, y la señal eléctrica de información se modula empleando un diodo de emisión de luz (LED) o un diodo de inyección láser.

Las señales de luz viajan por la fibra óptica, el **medio de transmisión**, cuyo diseño se realiza conforme a las propiedades físicas de la luz y de los materiales del cable. Éste guía a la señal a través del canal de comunicación.

En el **receptor** se realiza el proceso inverso. La señal que llega es de naturaleza óptica de manera que se emplea un conversor óptico-eléctrico sensible a los pulsos de luz, que produce una señal de información eléctrica.

Fundamentos físicos

Los fundamentos físicos en los que se sostienen las comunicaciones ópticas, radican principalmente en los fenómenos que intervienen en la propagación de la luz, y que son descritos a continuación.

Propiedades de la luz

La luz se comporta como una onda electromagnética. Las ondas de luz que se propagan en los sistemas de comunicaciones ópticas corresponden a la sección infrarroja IR, por debajo de la luz visible. Su frecuencia de cambio u oscilación ronda los 230 THz (2.3×10^{14} Hz). Su longitud de onda se encuentra en el rango de 1310 - 1550 nm, y queda determinada por la *ecuación de longitud de onda*:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío y f , la frecuencia de oscilación.

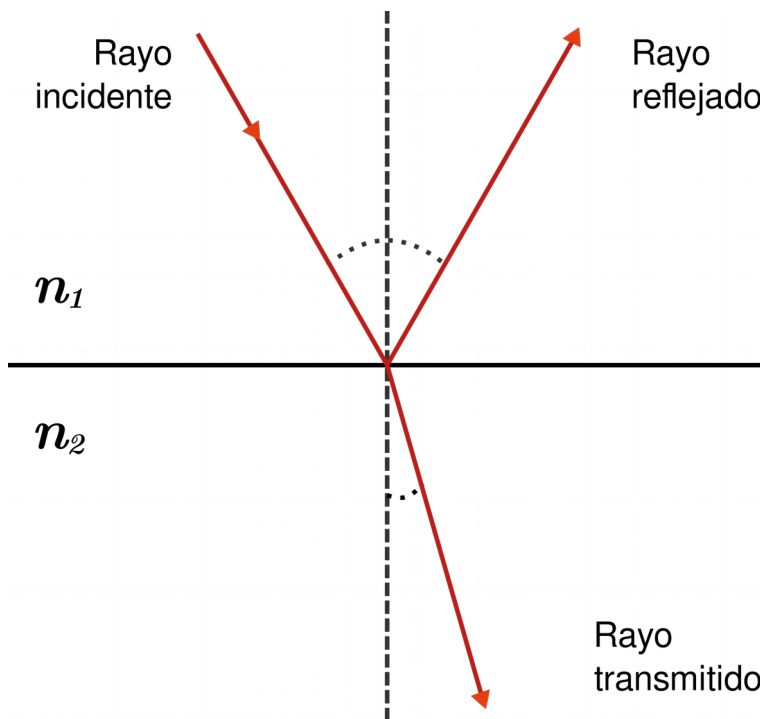
Reflexión y Refracción de la luz

Cuando un haz de luz cambia de medio, también lo hace su velocidad y dirección, según las propiedades materiales de los medios en los que se transmite.

El estudio de los fenómenos físicos que suceden ante la incidencia de un haz de luz en la frontera entre dos medios, permite el diseño de un conductor a modo de guía de onda de la luz como lo es la fibra óptica, según las

propiedades de los materiales que la componen y el medio en el que se encuentra.

El fenómeno de la reflexión es explicado por la *Ley de Snell*. La misma determina que para un haz de luz propagándose en un medio con índice de refracción n_1 , hacia la frontera de un medio de índice de refracción n_2 , el comportamiento del haz queda determinado por $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$.



Reflexión

Se da cuando el haz de luz cambia de dirección al incidir en la frontera entre dos medios, de manera que se continúa propagando por el primero de los medios parcial o totalmente.

En el diagrama el rayo reflejado se propaga en el medio con índice de refracción n_1 , formando un ángulo θ_r con la normal a la frontera entre los medios.

Este fenómeno es de vital importancia en el estudio de la fibra óptica ya que el objetivo durante la transmisión de información en forma de pulsos de luz es mantener los rayos en la fibra y más específicamente en el centro del cable.

Refracción

Es la producida por el haz de luz que se continúa propagando a través del medio con índice de refracción n_2 , a una velocidad y en una dirección diferentes al rayo de incidencia.

En el diagrama antes expuesto, el rayo refractado forma un ángulo θ_2 con la normal a la frontera. Para el caso de las comunicaciones ópticas, el diseño de la fibra debe ser tal que las propiedades de refracción de los materiales impida la refracción de los haces de luz.

Ángulo crítico

El ángulo crítico es un parámetro importante de diseño para las comunicaciones ópticas. Se define como aquel ángulo θ_c de incidencia máximo para el que no se produce el fenómeno de refracción, por lo cual, la reflexión es completa y no hay propagación hacia el otro medio.

En comunicaciones ópticas un ángulo de incidencia mayor al ángulo crítico, implica que parte de la señal de información se propaga fuera del medio de transmisión, fuera de la fibra.

Refracción de los materiales

El índice de refracción de un material es un valor adimensional determinado

por la ecuación: $n = \frac{c}{v}$ donde c es la velocidad de la luz en el vacío y v la velocidad de la luz en el material en cuestión.

Un cable de fibra óptica se fabrica con aquellos materiales cuyas propiedades de refracción permitan hacer de guía de onda para los haces de luz.

Fundamentos técnicos

Composición de la fibra óptica

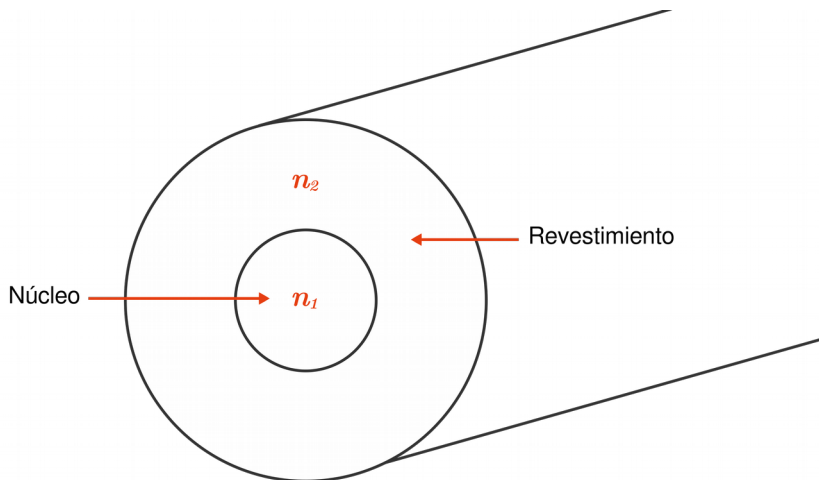
Una fibra óptica consiste en un material transparente y cilíndrico por el que se propagan ondas luminosas. Está compuesta por tres capas diferenciadas:

- **Núcleo:** En esta capa se propaga la luz, generalmente de vidrio de sílice, pero también puede ser plástico. El diámetro del núcleo varía, según el tipo de fibra, entre 8 y 100 μm .
- **Revestimiento:** Cubre el núcleo, y sus características de refracción junto con las del núcleo (n_1 y n_2) aseguran que los haces de luz se reflejen siempre en las paredes de éste y no se refracten nunca a los

medios externos. Puede ser de vidrio o de plástico. El diámetro típico del revestimiento es de $125\text{ }\mu\text{m}$.

Típicamente los índices de refracción del núcleo y del revestimiento difieren levemente entre ellos. Los valores se encuentran alrededor de $n_1=1,5$ y $n_2=1,48$ respectivamente, mientras que el índice de refracción del aire es aproximadamente 1, aunque a los fines prácticos se toma como 1.

- **Recubrimiento:** Es una capa que envuelve al revestimiento. Le provee una protección extra a la fibra, de condiciones externas. Suele ser de plástico o acrílico. Según la protección que se requiera, el diámetro del recubrimiento puede ser de 900 o $2000\text{ }\mu\text{m}$.



Clasificación de la fibra óptica

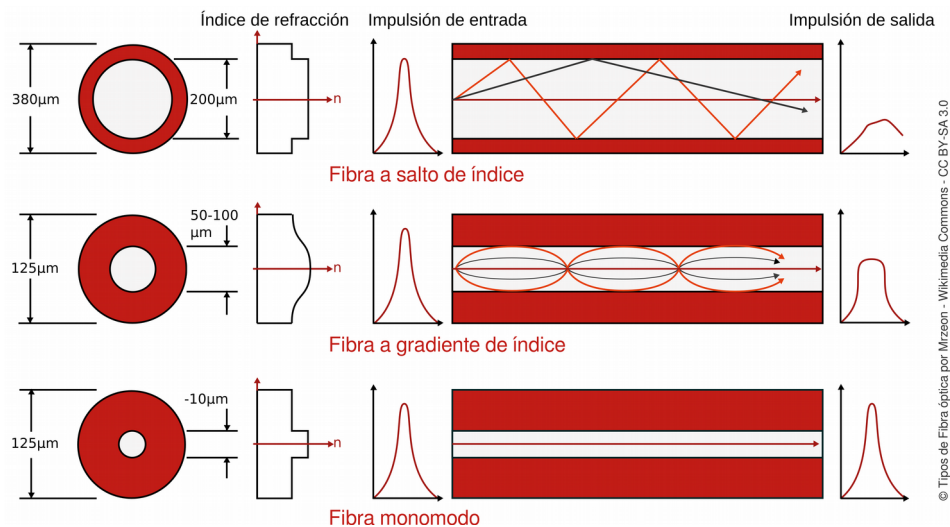
Según la cantidad de modos (camino o trayectoria que describe un haz de luz) que transporte el núcleo, se pueden clasificar los cables de fibra en monomodo (modo único o modal) y multimodo (múltiple o multimodal).

Algunas de las características distintivas de cada clasificación son:

- **Monomodo**
 - Núcleo pequeño respecto al recubrimiento.
 - Menor dispersión.
 - Adecuado para largas distancias respecto a la multimodo, ya que el haz de luz recorre un camino “recto” .
 - Emplea láser como fuente de luz.
 - Costo elevado de equipamiento respecto a la multimodo.
 - Se emplea en redes de larga distancia (más de 60km).
- **Multimodo**
 - Núcleo grande respecto al recubrimiento.
 - Mayor dispersión y por ende pérdida de la señal.

- Menos adecuado para largas distancias respecto a la monomodo, ya que los haces de luz se reflejan constantemente en las paredes del núcleo.
- Emplea LED como fuente de luz.
- Bajo costo de equipamiento respecto a la monomodo.
- Se emplea en redes de corta distancia (hasta 2km).

Según la **variación del índice de refracción** desde el núcleo hacia el recubrimiento, se puede clasificar el cable de fibra como sigue:



- **Salto de índice o índice de salto (superior):** El índice de refracción del núcleo hacia el recubrimiento varía abruptamente, lo que describe reflexiones de los haces en las paredes del núcleo como se observa en el gráfico.

- **Gradiente de índice o índice de graduado (intermedio):** El índice de refracción varía gradualmente desde el núcleo hacia afuera, provocando cambios de dirección graduales en los rayos.
- **Monomodo, índice de escalón (inferior):** La función que describe la variación del índice de refracción del núcleo respecto al recubrimiento forma un escalón, lo que guía en una trayectoria sin reflexión al haz de luz.

Apertura numérica

Se trata de un parámetro dado por un ángulo de incidencia máximo a la fibra que define el rango de apertura o cono de aceptación por debajo del cual los rayos se propagan en la fibra, y por ende, por encima del cual los haces de luz cambian de medio y se pierde información.

Pérdidas en fibra óptica

Se denomina pérdida a las atenuaciones de potencia sufridas por la señal luminosa a medida que se propaga por la fibra óptica. Cuantitativamente, la atenuación esta determinada por la siguiente ecuación:

$$A_t(dB) = 10 \log \frac{P_{salida}}{P_{entrada}}$$

Una atenuación de 3dB reduce en un 50% la potencia de la señal. Según el tipo de fibra, los valores típicos de atenuación en dB/km son:

- **Unimodal:** 0,4 - 0,5 dB/km

- **Índice gradual:** 4 - 5 dB/km
- **Índice escalonado:** 6 dB/km

Las **causas de atenuación** o pérdida de potencia en los cables de fibra puede estar dada por:

- **Absorción** intrínseca al material, que se da cuando las impurezas de la fibra absorben luz y la disipan en forma de calor. La absorción puede clasificarse en: absorción ultravioleta, infrarroja, o por resonancia de iones.
- **Pérdidas en material o dispersión de Rayleigh** intrínseca al proceso de fabricación. Se da cuando la fibra presenta regularidades submicroscópicas y los haces de luz se reflejan y refractan en las mismas.
- **Dispersión cromática o por longitudes de onda.** Dado que la velocidad de un haz de luz en un medio depende de su longitud de onda λ , las variaciones de la fuente de luz producen rayos de diferentes λ que viajan a diferentes velocidades, resultando en una onda distorsionada.
- **Pérdidas por radiación** debidas a discontinuidades y cambios de dirección en el cable de fibra, ya sea producto de los procesos de fabricación, o presión y tensión aplicada a la fibra.

- **Dispersión modal.** La señal compuesta, formada por todos los haces de luz que se propagan a lo largo de la fibra, llega al receptor ensanchada respecto al transmisor. Esto se debe a que los diferentes caminos que recorren los rayos de luz, les imprimen diferentes velocidades.

Pérdida por empalme: Cuando dos cables de fibra se empalman, las imperfecciones en la unión reporta pérdidas de potencia.

Las pérdidas por empalme están sujetas a la calidad de la fibra, la habilidad del operario que realiza el empalme, así como la calidad del equipamiento. Los valores típicos de pérdida por empalme en fibra son:

- Fusión: 0,02 - 0,2 dB
- Mecánico: 0,1 - 0,5 dB

Observaciones finales

La infraestructura de muchos servicios de telecomunicaciones se está reemplazando parcial o totalmente por fibra óptica, tanto en redes de datos, como de telefonía y televisión debido a las grandes velocidades de transmisión que permite. La fabricación de cables de fibra imprime a los enlaces ópticos cada vez mayores velocidades, menores pérdidas de potencia. Las velocidades de transmisión máximas rondan las decenas de Terabits.

Bibliografía consultada por la autora

[0] Wayne Tomasi (2003), “Sistemas de comunicaciones electrónicas”. México: PEARSON EDUCATION.

[1] Bob Chomycz “Instalaciones de Fibra Óptica”.