

# Sistemas de comunicación ópticos

Josep Maria Fàbrega  
Simó Graells

PID\_00175708

Material docente de la UOC

**Josep Maria Fàbrega**

**Simó Graells**

La revisión de este material docente ha sido coordinada por el profesor: José Antonio Morán Moreno (2013)

Primera edición: septiembre 2013  
© Josep Maria Fàbrega i Simó Graells  
Todos los derechos reservados  
© de esta edición, FUOC, 2013  
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona  
Diseño: Manel Andreu  
Realización editorial: Eureka Media, SL  
Depósito legal: B-14.752-2013

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.*

## Introducción

Las comunicaciones ópticas son posiblemente el sistema de comunicaciones más antiguo. De hecho, la primera comunicación a larga distancia de la que se tiene conocimiento es la que supuestamente se estableció entre Troya (montaña Ida) y Argos en el año 1184 a. C. para avisar de que la guerra había terminado. Era un enlace de 518 km, con seis repetidores, que cruzaba el mar Egeo.

Aparte de esta anécdota, a lo largo de la historia ha habido diferentes métodos para transmitir información mediante señales ópticas, pero posiblemente los más importantes y de más impacto son aquellos basados en la fibra óptica.

Hace casi cincuenta años, Charles K. Kao demostró que se podía transmitir información a través de la fibra óptica. Y no solo esto, sino también que ofrecía grandes posibilidades: atenuación de señal muy baja y gran ancho de banda o, dicho de otro modo, que era posible transmitir mucha información (>10 Gb/s) y muy lejos (>5.000 km). Por estas dos propiedades básicas, la fibra óptica ha llegado a ser uno de los medios de comunicación de referencia en la sociedad de la información, dado que permite transmitir grandes volúmenes de información y/o comunicar puntos muy lejanos.

Esto nos lleva al curso que os presentamos sobre sistemas de comunicaciones ópticas. Dada la importancia de las telecomunicaciones en general, y el impacto particular que tienen las comunicaciones ópticas, vemos necesario un texto sobre el tema que no solo teorice los problemas clásicos de estos sistemas de comunicaciones, sino que también tenga un enfoque más actual y, sobre todo, práctico.

Para esto, hemos estructurado el texto en diferentes módulos, enfocados a lograr los objetivos del curso y que cubren las distintas partes de las que se compone cualquier sistema genérico de comunicaciones.

El esquema básico de un sistema de comunicaciones consta de emisor, canal y receptor, tal y como se puede ver en la figura 1. El medio de transmisión o canal más empleado en los sistemas de comunicaciones ópticas es la fibra óptica.

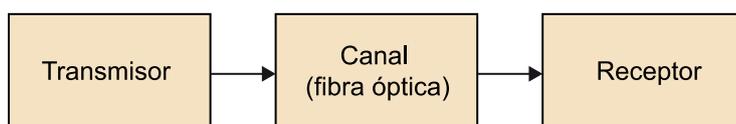


Figura 1. Esquema típico de un sistema de comunicaciones ópticas

Físicamente, la fibra óptica consiste en un núcleo cilíndrico y compacto de vidrio, rodeado por un revestimiento con la misma estructura. La luz avanza por la fibra gracias al cumplimiento de la propiedad de la reflexión total de

la luz entre el núcleo y el revestimiento. Las principales características de la fibra óptica son las bajas pérdidas de transmisión y el gran ancho de banda que ofrece.

En el primer módulo veremos el principio de funcionamiento, las características y las limitaciones de la fibra óptica como guía de luz. El estudio del principio de funcionamiento de la fibra óptica se inicia bajo la consideración de la óptica de rayos, y se amplía con otro estudio más cuidadoso empleando la óptica electromagnética. De manera complementaria al estudio del funcionamiento de la fibra óptica, se explican los diferentes tipos que se pueden encontrar en el mercado y sus características. A continuación, se estudian las limitaciones presentadas por el medio de transmisión y el efecto que tienen en el diseño del enlace. Estos son los efectos clásicos de limitación (la atenuación y la dispersión) y los efectos no lineales.

La atenuación es la disminución del ancho de la señal por el hecho de recorrer un tramo de fibra, y puede limitarnos la longitud del enlace. La dispersión es el ensanchamiento temporal de un pulso de luz debido al paso por un tramo de fibra óptica, y puede representar tanto una limitación de velocidad binaria como una limitación de longitud del enlace.

Los efectos no lineales son fruto de la inyección de excesiva potencia dentro de la fibra óptica, lo que hace que el comportamiento del medio pase a ser no lineal. Estos suponen una degradación del sistema de comunicaciones ópticas y se pueden traducir en atenuaciones excesivas, distorsiones o diafonía (*crosstalk*).

Hay que decir que la fibra óptica no es un elemento aislado; dentro del sistema de comunicaciones ópticas, está unido a otros elementos –como pueden ser emisores, receptores o amplificadores– o a otros tramos de fibra óptica. Además, hay que tener en cuenta que la fibra óptica es el medio en el que se propagan las señales ópticas que contienen los datos que hay que enviar por la red.

En el segundo módulo, se estudia cómo verificar que las interconexiones físicas entre la fibra y los otros elementos sean correctas y que las señales ópticas tengan una calidad aceptable para llevar a cabo la comunicación.

El aparato de medida que nos permite verificar la parte física de la red es el reflectómetro óptico en dominio temporal (OTDR).

La medida y la evaluación de los parámetros propios de las señales ópticas que se están transmitiendo se conocen como monitoreo óptico. Algunos de los parámetros más importantes para monitorizar son la relación señal-ruido óptica (que permite estimar la calidad de la señal óptica), la dispersión cromática o la dispersión en el modo de polarización.

Siguiendo con la descripción del esquema básico de un sistema de comunicaciones, aparte del canal, los otros bloques básicos son el transmisor y el receptor. Estos los veremos en el tercer módulo. Allí haremos un repaso de los bloques básicos de los que se pueden componer tanto el transmisor como el receptor, y veremos cuáles son los esquemas que podemos encontrar en los sistemas de comunicaciones ópticas de hoy día. Concretamente, veremos las implementaciones basadas en modulación de intensidad y detección directa, en las que la información se transmite codificada en pulsos de luz. También veremos implementaciones más avanzadas y basadas en codificar la información en la fase de un haz continuo de luz, que se han estandarizado recientemente.

Un punto importante del tercer módulo es el hecho de que, aparte de los transmisores y receptores, veremos implementaciones de sistemas intermedios que permiten alargar el alcance de la comunicación (por ejemplo, amplificadores ópticos), y repasaremos cómo afectan a las prestaciones de la transmisión de la información. Concretamente, pondremos énfasis en el compromiso entre los diferentes tipos de sistemas y la máxima distancia a la que podremos transmitir.

Llegados a este punto, habremos visto los aspectos más importantes de un sistema genérico de comunicaciones ópticas. En lo que respecta al cuarto módulo, nos centraremos en las redes y aplicaciones de los sistemas de comunicaciones ópticas. Primero veremos cuáles son las arquitecturas de red más típicas (bus, anillo y estrella) y cuáles son los elementos básicos para la construcción y gestión de las mismas. De este modo, explicaremos las arquitecturas de los nodos que las componen, introduciremos el concepto de multiplexación por división de longitud de onda y veremos cómo se implementa la protección y gestión de fallos. Estos últimos puntos son importantes, dado que las compañías operadoras de redes ópticas medianas y grandes tratan grandes volúmenes de información (mucho esencial) y no se pueden permitir un mal funcionamiento de la red.

Para acabar el cuarto módulo, veremos las arquitecturas y estándares utilizados en redes ópticas de acceso, que llegan hasta el usuario final. De este modo, veremos cómo se desmantela de manera progresiva el acceso basado en tecnologías XDSL y es sustituido por la fibra óptica. Finalmente, explicaremos cuáles son los parámetros importantes y cómo se dimensionan estas redes.

## Objetivos

El estudio de este material permite lograr los objetivos siguientes:

- 1.** Entender y saber analizar la propagación de la luz a través de la fibra óptica, así como sus efectos en la transmisión de señales ópticas.
- 2.** Conocer y entender los principios de funcionamiento de los diferentes sistemas de medida para caracterizar, verificar y monitorizar el funcionamiento de las redes de fibra óptica.
- 3.** Saber de qué manera se transmite y se recibe la información en un sistema de comunicaciones ópticas, y cómo se implementan los diferentes subsistemas ópticos que componen un enlace.
- 4.** Ser capaces de diseñar redes y nodos de comunicaciones ópticas para varias aplicaciones: desde las que establecen comunicaciones en un ámbito troncal y/o metropolitano, hasta las que pueden llegar al usuario final.

## Contenidos

### Módulo didáctico 1

#### **La fibra óptica y los efectos limitadores de los sistemas de comunicación ópticos**

Simó Graells

1. Luz y fibra óptica bajo la aproximación de la óptica de rayos
2. Efectos clásicos limitadores de las comunicaciones ópticas
3. Tipos de fibras ópticas
4. Propagación de la luz por la fibra óptica. Análisis desde el punto de vista de la óptica electromagnética
5. Efectos no lineales
6. Ejemplos de cálculo de los efectos limitadores de enlaces de comunicaciones ópticas

### Módulo didáctico 2

#### **Verificación y monitorización de redes ópticas**

Josep Maria Fàbrega y Simó Graells

1. Reflectometría en el dominio temporal
2. Monitorización de prestaciones de señales ópticas

### Módulo didáctico 3

#### **Sistemas ópticos de transmisión**

Josep Maria Fàbrega

1. Repaso y descripción de dispositivos
2. Modulación de intensidad y detección directa
3. Sistemas coherentes
4. Anexo. Breve introducción a la caracterización de la polarización de la luz

### Módulo didáctico 4

#### **Topologías de redes de fibra óptica y gestión de fallos**

Josep Maria Fàbrega y Simó Graells

1. Redes en anillo y estrella. Direccionamiento y WDM. Gestión de fallos
2. Topologías de fibra hasta el hogar (FTTH)

