

# LA INVASIÓN DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

Ángel Luis Pérez Rodríguez ( [aluis@unex.es](mailto:aluis@unex.es) )

**Grupo Orión de Investigación. Área de Óptica. Dpto. de Física. Uex.**

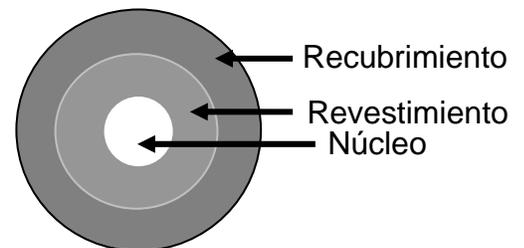
*“Por la importancia de los principios involucrados, el fonógrafo es el invento más grande que yo he realizado, mayor aún que el teléfono”*

*Alexander Graham Bell. 1921*

Cuando Graham Bell, inventor del teléfono, poco antes de morir, pronunció esta frase, era consciente de que aunque la tecnología necesaria para desarrollar convenientemente su invento consistente en enviar la voz a distancia utilizando señales luminosas no estaba lo suficientemente desarrollada y había tenido que abandonarlo, cuando llegara a estarlo, desplazaría en importancia a su otro gran invento consistente en enviar la voz a distancia utilizando señales eléctricas. Ese momento está llegando y si reflexionamos un poco, nos daremos cuenta de que durante estos últimos años una revolución encubierta está cambiando nuestra forma de vida y nuestras costumbres. La base fundamental de esta revolución se encuentra en la paulatina sustitución de los viejos hilos de cobre que transportan la información en forma de señales eléctricas por finas hebras de vidrio que la transportan en forma de pulsos de luz. Con la utilización de estas Fibras Ópticas se está aumentando extraordinariamente nuestra capacidad de transmitir grandes cantidades de información a través de larguísimas distancias y con una fidelidad casi absoluta. Ya en la antigua Grecia la luz del sol era reflejada con espejos para hacer señales y transmitir información. Con el paso del tiempo, la luz del sol ha sido sustituida por luz artificial, la señal de encendido y apagado ha sido codificada y, en la mayoría de los casos, el medio de propagación ha dejado de ser el aire; pero el principio básico de encendido y apagado de la luz sigue siendo el mismo. La señal a transmitir controla una fuente de luz encendiéndola y apagándola con una secuencia codificada. Esta luz se acopla a uno de los extremos de una Fibra Óptica que la guía hasta el destino deseado, pues, aunque la luz viaja en línea recta cuando el medio por el que se propaga es homogéneo, las propiedades de la Fibra Óptica son tales que guían la luz a lo largo de ella haciéndola seguir caminos sinuosos sin permitir que se escape hasta llegar al extremo final de la misma, en el que la Fibra se acopla a un dispositivo fotodetector, sensible a la intensidad de luz, que convierte de nuevo la señal luminosa en una señal eléctrica convencional.

## CONSTITUCIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA

Una Fibra Óptica consiste en un material transparente de sección cilíndrica y largo que confina y propaga las ondas luminosas por su interior. Está compuesta de tres zonas diferentes: el núcleo central por el que se propaga la luz, el revestimiento que cubre el núcleo y que confina la luz dentro de él, y el recubrimiento que la dota de protección. El núcleo y el revestimiento están formados normalmente por vidrio de sílice, y el recubrimiento suele ser de material plástico, coloreado para facilitar su identificación.



La composición del núcleo y del revestimiento difieren ligeramente, debido a pequeñas cantidades de materiales que son añadidos durante el proceso de fabricación. Esto altera las características del índice de refracción de ambas capas, dando lugar a las propiedades ópticas necesarias para que se produzca el confinamiento de la luz en el interior del núcleo. En las Fibras más utilizadas, las conocidas como de salto de índice, el índice de refracción del núcleo tiene un valor constante y el del revestimiento otro ligeramente inferior. Esta diferencia de índice origina que los rayos de luz que se propagan suficientemente paralelos al eje de la Fibra vayan sufriendo reflexiones totales en la interfase núcleo/revestimiento y no puedan salir del núcleo.

Existe otro tipo de Fibras Ópticas que están hechas completamente de plástico o de otros materiales transparentes. Estas Fibras son generalmente más baratas pero tienen una atenuación mayor y una aplicación limitada.

En la práctica, las Fibras se comercializan reuniendo un buen número de ellas en el interior de un cable con otros tipos de protecciones que son muy variables, pues muy variables son las circunstancias que tendrán que soportar tanto durante su tendido como una vez instaladas, que pueden ir desde un simple tendido aéreo (que puede necesitar protección anticazadores) o subterráneo (que puede necesitar protección antirroedores) hasta un tendido transoceánico (que tendrá que soportar grandes tensiones durante su instalación).

**VENTAJAS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS FRENTE AL HILO DE COBRE**

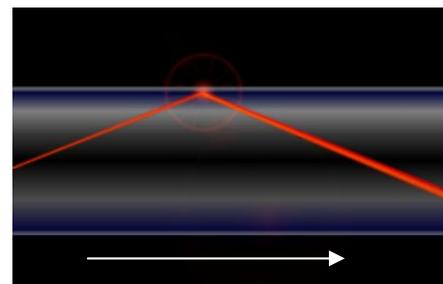
La Fibra Óptica presenta muchas ventajas respecto a otros métodos de transmisión de información mediante señales eléctricas, algunas de ellas son:

- Que la cantidad de información por unidad de tiempo que puede transmitir es mucho mayor y que una señal luminosa puede viajar por una Fibra Óptica adecuada sin necesitar regeneración durante distancias mucho mayores que una señal eléctrica por un cable de cobre.
- Que no genera señales que puedan producir interferencias, por lo que no pueden darse muchos de los problemas de los que se dan con las señales eléctricas como el de las conversaciones cruzadas, y que no pueden ser intervenidas para obtener clandestinamente la información que transportan; por medio de mecanismos eléctricos convencionales como conducción superficial o inducción electromagnética esto no es posible y “pincharlas” ópticamente es muy difícil. Además, si se consiguiera llevar a cabo, dicha intervención y el lugar donde está siendo realizada podrían ser detectados monitorizando la señal óptica recibida al final de la Fibra
- Que un cable de Fibra Óptica tiene un diámetro mucho más pequeño y pesa mucho menos que uno de hilos de cobre equivalente y que es un medio absolutamente seguro, pues, al no ser conductor eléctrico, elimina situaciones potencialmente peligrosas como las descargas eléctricas originadas por rayos o por cualquier tipo de derivaciones eléctricas. Además tiene una larga vida de servicio y su mantenimiento es mucho menor que el requerido para un sistema convencional, pues no hay cobre que se pueda corroer o verse afectado por cortocircuitos, sobretensiones, etc.

Una de las características de la Fibra que suministra el fabricante es su “ancho de banda por distancia” (algunos la designan como “ancho de banda” simplemente) que define su capacidad de transmisión de información a una cierta distancia, depende de los valores de los coeficientes de atenuación y de dispersión de dicha Fibra y lo más frecuente es suministrarla en MHz x Km. El producto de ambos factores no debe superar el valor que facilita el fabricante: a más MHz de frecuencia de la señal (más bits en cada segundo), a menos Km de distancia se puede enviar. Para conseguir que su valor sea elevado hay que ser muy cuidadosos durante el proceso de fabricación, téngase en cuenta que, por ejemplo, una variación del 0,1 por 100 en el diámetro del núcleo puede significar unas pérdidas de potencia tales que hagan esa Fibra inservible para altas prestaciones. Además, aunque cada vez se van consiguiendo Fibras con menores atenuaciones, al no existir ningún material completamente transparente, la luz que viaja en una Fibra Óptica siempre irá perdiendo algo de su potencia con la distancia. Las pérdidas de luz de este tipo se deben a las impurezas existentes en el vidrio utilizado y a la absorción de la luz por las propias moléculas del material empleado y dependen de la longitud de onda de la luz utilizada y del material por el que se propaga. Para el sílice las pérdidas más bajas se encuentran en tres intervalos de longitudes de onda que son conocidos como las tres “ventanas” de las comunicaciones ópticas y que son las utilizadas habitualmente, pues al ser en ellas más baja la atenuación se puede enviar la señal más lejos sin necesidad de amplificaciones intermedias. Aunque el no disponer de materiales con atenuación suficientemente baja fue el problema inicial que mantuvo parado el desarrollo de esta tecnología durante bastantes años, actualmente no solamente se fabrican Fibras con atenuaciones extraordinariamente bajas, sino que además, con la utilización de los amplificadores ópticos, se consigue incluso amplificar de nuevo la señal debilitada sin tener que abandonar el dominio óptico, con lo que la atenuación ha dejado de ser el principal problema que limita la capacidad de las Fibras.

Otro problema que aparece en las Fibras y limita su ancho de banda es el de la dispersión de la señal. Aunque con la aparición de las Fibras monomodo (en las que toda la luz que se propaga por el núcleo sigue prácticamente la misma trayectoria) este problema se redujo muchísimo, como en la práctica no es posible conseguir señales completamente monocromáticas (de una sola longitud de onda), los pulsos se distorsionan y se ensanchan al ir avanzando por la Fibra (porque unas longitudes de ondas avanzan más rápidas que otras), solapándose unos con otros y haciéndose indistinguibles para el equipo receptor. Los pulsos originales están perfectamente definidos y separados como 0 (no luz) y 1 (luz),

pero a medida que la señal se va propagando a lo largo de la Fibra Óptica, va teniendo lugar la dispersión de los mismos, por lo que los pulsos se ensanchan y deforman aunque pueden ser todavía reconocidos por el equipo receptor y regenerados. Si la señal se sigue propagando por la Fibra sin ser regenerada (que no sólo amplificada), llega a distorsionarse tanto que el equipo receptor no puede recomponer la secuencia original y la información se pierde. Es decir, cuanto mayor sea la longitud de Fibra recorrida por la señal mayor será la dispersión que sufren los pulsos de luz y más anchos tendrán que ser los pulsos originales para que puedan ser reconocidos



correctamente al final de su viaje. Esto significa que deben tener menos frecuencia y que portarán menos cantidad de información por unidad de tiempo. Por lo tanto estaremos ante una situación de compromiso: si queremos enviar la señal muy lejos sin regeneración intermedia, habrá que utilizar una frecuencia más baja (pulsos más anchos, más separados en el tiempo); y si lo que nos interesa es enviar mucha cantidad de información por unidad de tiempo no podremos enviarla tan lejos o necesitaremos regeneraciones intermedias. Actualmente se fabrican Fibras de dispersión invertida tales que introduciendo algunos tramos de longitud adecuada de ellas se compensa la dispersión que pudiera haber sufrido la señal en los tramos anteriores, con lo que también este problema está prácticamente superado.

En la actualidad la carrera por conseguir Fibras con mejores prestaciones cada vez, puede calificarse de frenética. Las comunicaciones de las distintas compañías sobre sus logros en este sentido son muy frecuentes consiguiéndose cada vez de diámetros más pequeños (como la que aparece en la figura cuyo diámetro es de solo  $0,05 \mu\text{m}$ ) y con capacidad para transmitir mucha más cantidad de información por unidad de tiempo y a distancia mucho mayores, consiguiéndose atravesar océanos sin necesidad de repetidores. Hasta hace poco tiempo lo normal era que las Fibras transportaran señales de frecuencias de codificación del orden de los MHz ( $10^6$  Hz), hoy en día lo normal es trabajar con frecuencias de los GHz ( $10^9$  Hz) y ya son varias las compañías que ofrecen Fibras que trabajan a la frecuencia de los teraHz (THz,  $10^{12}$  Hz), incluso una de ellas ha comunicado haber conseguido transmitir por una sola Fibra información a una frecuencia superior a los 10 THz. Los cables de múltiples Fibras más avanzadas están llegando a ofrecer una capacidad de transmisión de 10.000 THz (10 petaHz). Estos avances acaban de encontrar una nueva razón para el optimismo en el invento al que recientemente se ha otorgado el premio Nobel de física consistente en una nueva manera de conseguir pulsos muy precisos para contar el tiempo y que se prevé que permitirá controlar de una manera más precisa los pulsos de luz utilizados en las Fibras Ópticas y contribuirá a que sea posible seguir aumentando su ancho de banda.



#### EL PROBLEMA DE LA ELECTRÓNICA

En la actualidad la parte electrónica de las comunicaciones ópticas se ha convertido en el “cuello de botella” que frena y limita la velocidad de dichas comunicaciones. Por esta razón el objetivo a conseguir está siendo el ir prescindiendo de la electrónica y sustituyendo los dispositivos de este tipo por otros que realicen la misma función pero que trabajen con señales ópticas. En este sentido, por ejemplo, ya están siendo ampliamente utilizados los amplificadores ópticos que consiguen amplificar la señal óptica sin necesidad de pasarla al dominio electrónico para su amplificación y devolverla después de nuevo al dominio óptico, evitando de esta manera la limitación que siempre supone hacer pasar la señal por el dominio electrónico. En la actualidad en el Centro de Tecnología Nanofotónica de la Universidad Politécnica de Valencia se está llevando a cabo un ambicioso proyecto europeo de investigación (proyecto Lasagne) cuyo objetivo es poner a punto un nodo de Internet completamente óptico sin parte electrónica alguna y con el que Europa pretende ponerse a la altura de las investigaciones sobre este tema que se llevan a cabo en Estados Unidos y en Japón. Esta sustitución de dispositivos electrónicos por dispositivos ópticos equivalentes pero con prestaciones mucho mejores ha llegado hasta los propios ordenadores. El desafío es conseguir ordenadores que trabajen con señales ópticas en lugar de señales eléctricas y en ese proceso nos encontramos. Los primeros logros ya empiezan a ser conseguidos y, por ejemplo, Intel ha anunciado recientemente que ha conseguido poner a punto el primer chip óptico. Las previsiones de los expertos son que los primeros circuitos fotónicos sean viables entre el 2010 y el 2015 y el desarrollo del primer ordenador fotónico completo llegue hacia el 2040. Con estos dispositivos completamente fotónicos se conseguirán velocidades millones de veces más rápidas que las obtenidas con los mejores componentes electrónicos actuales. Es decir la Optoelectrónica avanza hacia la Fotónica para lo que tiene que ir desechando su parte de electrónica que tanto la limita.

#### PARA SABER MÁS

Animamos a aquellos lectores que sientan curiosidad por saber más sobre las Fibras Ópticas a visitar nuestra página web <http://grupoorion.unex.es> en la que, pulsando sobre el enlace: “Prácticas de Optoelectrónica sobre Fibras Ópticas”, pueden aprender muchas más cosas sobre las Fibras Ópticas, realizar en red prácticas simuladas informáticamente y ver una colección de videos de prácticas de laboratorio con Fibras Ópticas grabadas en nuestro laboratorio de Óptica de la Facultad de Ciencias de la UEX. En esta dirección se incluyen las Fichas, los Guiones, los Cuestionarios y los Test correspondientes y que son utilizados por nuestros alumnos de la asignatura de Optoelectrónica de cuarto curso de Ingeniería Electrónica.