

Tecnología de las fibras ópticas

Métodos de fabricación, empalme y conexión de las fibras ópticas

JESÚS BLANCO

En el vacío, la luz se propaga a la velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$. En un medio homogéneo e isotrópico, de índice n , esta velocidad es menor, y toma el valor:

$$v = \frac{c}{n}$$

Así, en un vidrio corriente de índice 1,5, su velocidad sólo es de $2 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

En el seno de una fibra óptica, la luz se propaga según una línea quebrada y a la velocidad v antes indicada, que es el desplazamiento de la fase a lo largo del rayo luminoso (fig. 1). En cambio, la energía se propaga a lo largo de la fibra a la velocidad v_g , llamada «velocidad de grupo». En este caso, se tiene:

$$v_g = v \cos \theta$$

La existencia de varios modos, caracterizados por ángulos θ diferentes,

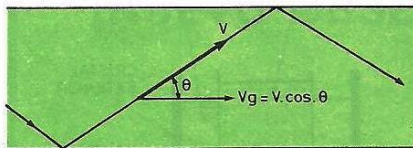


Fig. 1 - Propagación de la luz en una fibra óptica mediante reflejos sucesivos.

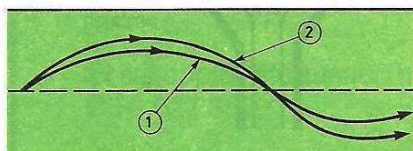


Fig. 2 - Variaciones del índice, en función de la distancia al eje, en una fibra de gradiente de índice.

conduce a la existencia simultánea de varias velocidades de grupo en una misma fibra. Esta característica de las fibras multimodos constituye un inconveniente, puesto que produce una deformación o una dispersión durante la propagación de los impulsos luminosos.

Caso de las fibras de gradiente de índice

La particular estructura de las fibras de gradiente de índice permite obtener velocidades de grupo iguales para todos los modos. Sin presentar aquí una demostración matemática que nos llevaría demasiado lejos, a continuación se intentará demostrar cualitativamente esta posibilidad haciendo referencia a la figura 2.

En ella, se ilustra las variaciones del índice n en función de la distancia al eje de la fibra. De valor máximo en el eje, n_1 disminuye hasta la superficie del núcleo, para tomar a continuación el valor n_2 en la envoltura.

Los rayos 1 y 2 representados forman, con el eje de la fibra, unos ángulos θ diferentes que corresponden a modos distintos. El rayo 1, con un ángulo pequeño, circula siempre por las cercanías del eje, que es donde encuentra los índices más elevados y, por tanto, tiene una baja velocidad de fase. El rayo 2, con un ángulo θ más grande, se aparta bastante del eje y describe un trayecto más largo. Sin embargo, circula por zonas exteriores de índice menos elevado, por lo que tiene una velocidad de fase mayor. De esta manera, las velocidades de grupo se igualan y, por tanto, no dependen del modo. A veces se dice que

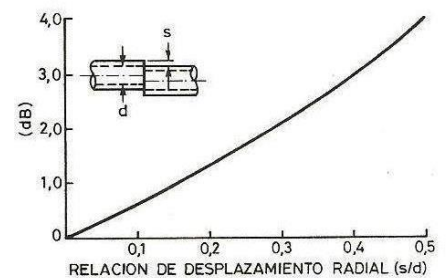


Fig. 3 - Pérdidas en un empalme de fibras ópticas en función del desplazamiento de sus ejes.

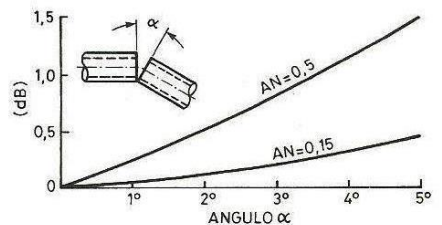


Fig. 4 - Pérdidas en un empalme de fibras ópticas en función del ángulo formado por sus ejes y para dos AN distintas.

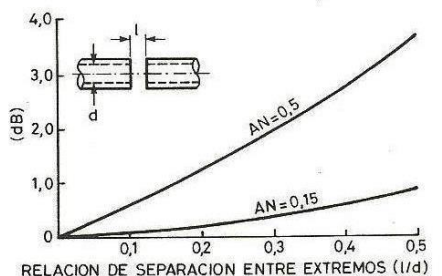


Fig. 5 - Pérdidas en un empalme de fibras ópticas en función de la separación y para dos AN distintas.

la fibra de gradiente de índice produce un efecto de focalización sobre los diferentes rayos.

Algunas indicaciones numéricas permitirán precisar el efecto de la dispersión en las fibras multimodos. Para los modelos de salto de índice, suelen encontrarse dispersiones de 20 a 30 ns/km. Los modelos de gradiente de índice permiten descender a 2 o 3 ns/km, o sea obtener una mejora de 10 veces.

Empalme y conexión de las fibras ópticas

El término «empalme» designa un enlace permanente realizado entre dos

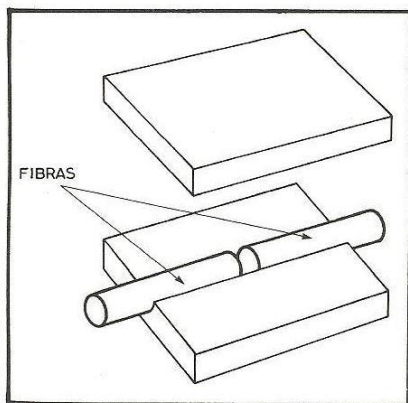


Fig. 6 - Guías con ranuras en forma de V utilizadas para el empalme de dos fibras ópticas.

fibras, bien durante su instalación, bien por una reparación después de su ruptura. En cambio, una «conexión» designa un dispositivo de montaje o desmontaje rápidos.

Tanto en un caso como en el otro, el principal problema que debe resolverse es la minimización de las pérdidas. Éstas se producen por la presencia de un intervalo entre las dos caras, de un desplazamiento de los ejes de las fibras por deslizamiento, o de un mal alineado angular. La importancia de las pérdidas depende de la apertura numérica AN de la fibra. En las figuras 3 a 5 se han representado las curvas de dichas pérdidas para cada caso.

Un desplazamiento de los dos ejes (fig. 3) puede caracterizarse por la relación entre su magnitud s y el diámetro d de la fibra. En este caso, la apertura numérica no interviene y, por tanto, las pérdidas son representadas por una sola curva.

Las pérdidas introducidas por la presencia de un ángulo α entre las dos caras, o sea entre los dos ejes, pueden verse en la figura 4 para dos AN distintas.

Finalmente, en la figura 5 se muestra la influencia de un intervalo 1 entre las dos caras. En este caso, interviene la relación l/d , y las pérdidas dependen de la AN.

Durante la realización de un empalme, pueden utilizarse diferentes dispositivos para guiar de la manera más precisa posible la posición de las dos fibras: piezas de guía con una ranura en forma de V (fig. 6), varillas de posicionamiento en el interior de una férula (fig. 7), etc. El empalme se realiza por encolado mediante una resina que tiene el mismo índice que el del núcleo de la fibra, o bien por soldadura por fusión con un arco eléctrico.

Los conectores destinados a las fibras que deben conectarse o desconectarse son de una realización muy precisa y delicada, y existen tantas variedades, que haría falta un verdadero catálogo para examinarlos.

Fabricación de las fibras ópticas

Las fibras ópticas se clasifican en diferentes categorías. En primer lugar, se distinguen las fibras monomodo de las multimodos. Las primeras siempre son de salto de índice. Entre las fibras multimodos, se distinguen los modelos de salto de índice de los modelos de gradiente de índice.

Los materiales utilizados

Una fibra óptica no puede trabajar únicamente en modo fundamental, a no ser que su núcleo tenga un diámetro extremadamente pequeño, del orden de uno a algunos micrómetros. El material empleado es el vidrio de sílice SiO_2 , que tiene un índice de refracción muy pequeño, de aproximadamente 1,45. Como para la envoltura se necesita un índice aún más bajo, se emplea para ella sílice dopado con boro o con flúor, o bien compuestos orgánicos.

Para las fibras multimodos de salto de índice, con un núcleo de algunas decenas de micrómetros de diámetro, pueden utilizarse las mismas combinaciones de materiales que las indicadas anteriormente. Otra solución consiste en emplear, para el núcleo, fosfosili-

cato o germanosilicato, que tienen unos índices más elevados que el sílice.

Las fibras de gradiente de índice, también de un diámetro de algunas decenas de micrómetros, suelen tener un núcleo a base de sílice y una envoltura de vidrio formada por diversos componentes.

Finalmente, en la actualidad, existen también fibras ópticas de plástico, que pueden utilizarse tanto en la banda visible como en la del infrarrojo cercano. Si bien tienen unas prestaciones inferiores a las de las fibras antes descritas, especialmente en la atenuación, son suficientes para un buen número de aplicaciones y, sobre todo, tienen un precio particularmente ventajoso.

Los métodos de fabricación

Después de varias pruebas, parece que se van a imponer dos métodos: el de doble crisol y el de depósito químico en fase de vapor.

En la figura 8 se ilustra el método de doble crisol, que se presta muy bien

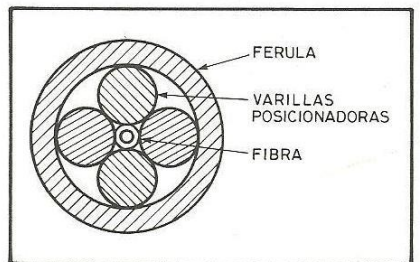


Fig. 7 - Férula y varillas de centrado utilizadas para el empalme de dos fibras ópticas.

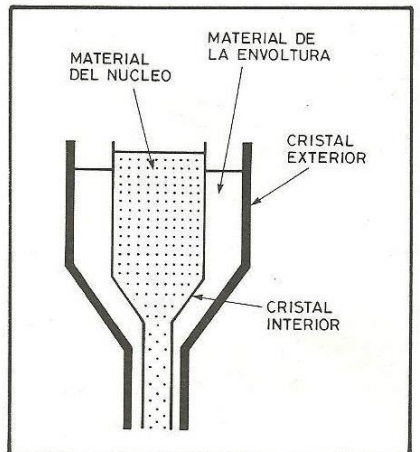


Fig. 8 - Disposición de los dos crisoles de fundición en el método de doble crisol.

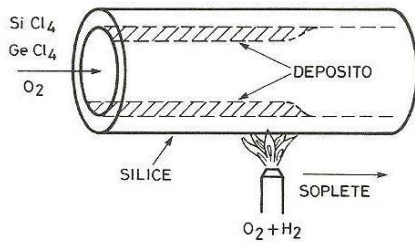


Fig. 9 - Deposición de óxidos en el interior del tubo de sílice en el método de deposición química en fase de vapor.

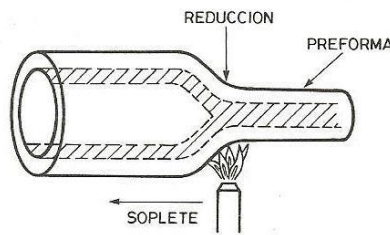


Fig. 10 - Fundición del tubo de sílice para la obtención de una preforma.

para la producción industrial. El crisol interior contiene el material del núcleo y, el exterior, el de la envoltura. Estos dos materiales, fundidos, pasan por unos orificios concéntricos, y la principal dificultad consiste en evitar que dichos materiales se contaminen con las impurezas de los crisoles.

El depósito químico en fase de vapor consta de dos etapas. La primera consiste en la fabricación de una preforma, una especie de fibra muy corta (aprox. 1 m) y muy gruesa (10 a 15 mm). La segunda etapa es el estirado, con el que se consigue una fibra muy larga y de diámetro muy pequeño.

La realización de una preforma (figura 9) parte de un tubo de sílice que gira en un torno de vidriero y que se calienta localmente a unos 1.500° C

mediante un soplete oxhídrico que se desplaza a lo largo del tubo. En este último penetra una mezcla de halogenuros y de oxígeno, que forman óxidos finamente pulverizados. Éstos se depositan en la pared de sílice y sufren una vitrificación con el paso del soplete. El espesor del depósito es muy fino, del orden de una decena de micrómetros como máximo, y son necesarias varias pasadas del soplete. Esto se aprovecha para modificar la composición del gas en cada pasada de la fase gaseosa y obtener así un gradiente de índice.

Después del depósito interviene el colapsado (fig. 10). Para ello, se interrumpe la aportación de gas y se eleva la temperatura a unos 2.000° C. El sílice funde y, gracias a la tensión su-

perficial, se compacta en forma de un tubo macizo de unos 10 mm de diámetro.

La última etapa es el estirado en una máquina que estira la preforma (figura 11), la cual desciende lentamente de un horno. La fibra es estirada en un cabrestante y luego es arrollada en bobinas colectoras. El diámetro es regulado mediante un dispositivo de medición de diámetro, que controla la velocidad de estirado. En su recorrido, la fibra pasa por un crisol, en la que recibe un baño de resina que forma la envoltura.

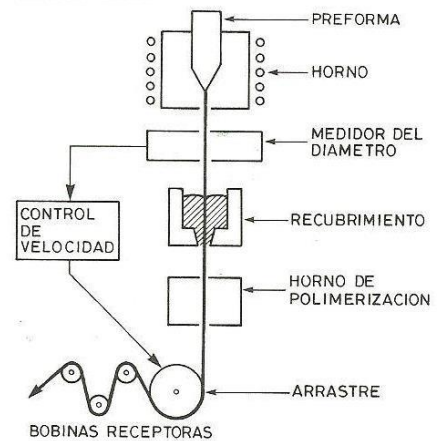


Fig. 11 - Disposición de los diversos elementos de una máquina de estirado de la preforma.