

Capítulo 6

Conexiones de fibra óptica: uniones y acopladores

Los enlaces de comunicaciones ópticas tienen en común con cualquier otro tipo de transmisión unos requerimientos para la unión entre cables y para la terminación de la línea. La cantidad de conexiones entre fibras para un enlace bipunto dependerá de la longitud del enlace (entre repetidores), de la longitud que tengan los rollos de cables y de la longitud máxima de cable que sea manejable para tirar una línea. Aunque se sea capaz de producir de forma continua un rollo de 1000Km de fibra va a ser difícil que podamos instalar un enlace de 1000Km sin partir la fibra, los trozos tan grandes de fibra tan sólo servirán para enlaces marítimos.

Actualmente los enlaces están en el rango de los 100Km para velocidades de transmisión entre 1GHz y 50GHz, y dado el gran desarrollo de la fibra como componente, lógicamente debe venir acompañada por el resto de los componentes necesarios para hacer posible la transmisión, en este capítulo describiremos dos tipos que son:

1. Empalmes de fibra. Son uniones permanentes o semipermanentes, son útiles para red de telecomunicaciones en las líneas de alto tráfico.
2. Conectores de fibra. Son uniones desmontables que permiten el conexionado y desconexión rápido, similar a los conectores BNC o a un enchufe eléctrico.

6.1 Empalmes de fibras

6.1.1 Alineamiento entre fibras y pérdidas en la unión.

Al contrario que en un empalme de conductores eléctricos la alineación va a tener gran importancia en los empalmes de fibra óptica, ya que la luz guiada ha de salir de una fibra e introducirse en la siguiente. Ya a primera vista parece bastante más complejo que en los conductores eléctricos.

Incluso cuando dos fibras están perfectamente cortadas (corte perpendicular al eje) y alineadas, un porcentaje de la luz transmitida por la primera fibra será reflejada al encontrarse con una interfaz vidrio-aire¹, la luz que salga de la primera no toda incidirá sobre la superficie de la segunda debido a la apertura

¹Lo mismo sucederá con la luz que incida sobre la segunda fibra

numérica (la luz saldrá con la misma distribución angular con la que entró) o a errores de alineamiento. Analicemos cada uno de los dos posibles fenómenos por los que tendremos una atenuación de la señal.

El primer efecto se conoce como reflexión de fresnel y nos dice que la magnitud de luz reflejada (suponiendo que no se supera el ángulo crítico que obtenemos por la ley de Snell) es

$$r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2 \quad (6.1)$$

donde r es la fracción de luz reflejada, n_1 es el índice de refracción del medio por el que se mueve la luz y n es el medio al que pasa la luz. La pérdida en decibelios será pues

$$Loss_{Fres} = -10 \log_{10} (1 - r) \quad (6.2)$$

para cada intercara y como tenemos dos segmentos de fibra este valor se doblará.

Ejemplo:

Dos fibras óptica cuyos núcleos tienen un índice de refracción de 1.5 se alinean para transmitir la luz de la una a la otra. Sus superficies son planas y perpendiculares a sus ejes. Calcular la pérdida óptica en la unión (en dB) si entre ambas hay aire.

Solución: Según la ecuación 6.1 la reflexión en una intercara será

$$r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2 = \left(\frac{1.5 - 1}{1.5 + 1} \right)^2 = 0.04$$

el valor obtenido implica que un 4% de la luz se refleja y por tanto se pierde.

La pérdida en dB's viene dada por la ecuación 6.2 y es

$$Loss_{Fres} = -10 \log_{10} (1 - r) = -10 \log_{10} (1 - 0.04) = 0.18 dB$$

Para la otra intercara el valor será el mismo y por tanto la atenuación total será de 0.36dB.

Este problema, que puede llevar a la atenuación que indica el ejemplo anterior, puede eliminarse si analizamos la ecuación 6.1. Para que la reflexión sea nula los dos índices de refracción n_1 y n han de ser iguales. Esto se consigue mediante el uso de un gel con el mismo índice de refracción del núcleo entre las dos fibras.

Lamentablemente la reflexión de Fresnel no es la única fuente de atenuación, como ya hemos comentado, aún queda la fuente potencial de mayor atenuación que es la causada por los problemas de alineamiento entre las fibras, tanto longitudinal, como axial o angular. Pero no sólo los problemas geométricos nos van a afectar sino también desviaciones en parámetros ópticos como:

- Diferentes diámetros en el núcleo o la envoltura
- Distintas aperturas numéricas
- Distintos perfiles de índices de refracción
- Problemas en la fibra (no circularidad del núcleo, excentricidad del núcleo frente a la envoltura, etc)

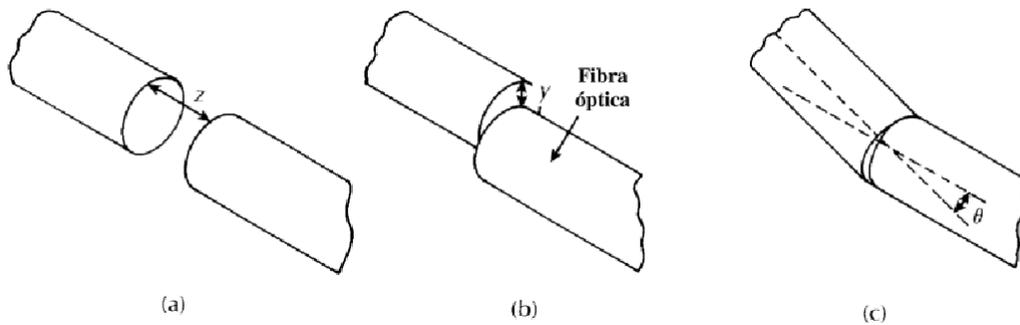


Figura 6.1: Posibles modos de no alineamiento: (a) longitudinal; (b) lateral; (c) angular

Por supuesto los mejores resultados al unir dos fibras los conseguiremos si éstas son idénticas y están bien hechas, si suponemos que esto es cierto y cada vez podemos asegurarlo mejor (con fibras de las mismas características y el mismo fabricante) podríamos reducir la atenuación resultante a los problemas geométricos.

Las pérdidas de potencia óptica resultantes de los tres tipos de error de alineamiento dependen del tipo de fibra y en particular del diámetro del núcleo y de la distribución de potencia entre los modos permitidos. En la figura 6.1 pueden verse gráficamente los errores de alineamiento e igualmente en la figura \ref{atenua] puede apreciarse como cada uno de estos errores afecta numéricamente a la atenuación. Parece claro que relativamente pequeños errores en el alineamiento pueden causar atenuaciones significativas y esto será especialmente cierto cuando los núcleos de las fibras se vayan reduciendo. También por ello fibras de núcleos grandes $> 150\mu m$ van a resultar poco afectadas y por ello las fibras de plástico son tan simples de conectar. También podemos deducir que va a haber grandes diferencias entre la utilización de fibras monomodo y multimodo precisamente por las diferencias entre los tamaños de los núcleos

6.1.2 Pérdidas en uniones de fibras multimodo

Se han realizado estudios teóricos para calcular las atenuaciones producidas por los distintos tipos de errores de alineamiento. Vamos simplemente a nombrar alguna de las expresiones usadas para el cálculo de atenuaciones debidas a errores de alineamiento laterales y angulares, las debidas a desplazamientos longitudinales no vamos a estudiarlas ya que estos errores pueden ser evitados en las conexiones.

Eficiencia lateral Los errores por no alineamiento lateral reducen la región de solapamiento entre los núcleos de las fibras. Si asumimos que todos los modos permitidos están uniformemente excitados en el interior de la fibra podemos calcular la eficiencia de la conexión entre fibras η_{lat} partiendo de la separación entre los centros de las fibras (y) y el radio del núcleo (a). La eficiencia de acoplamiento lateral puede calcularse entonces como:

$$\eta_{lat} = \frac{16 \left(\frac{n_1}{n}\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{n_1}{n}\right)^4\right)} \frac{1}{\pi} \left\{ 2 \cos^{-1} \left(\frac{y}{2a} \right) - \left(\frac{y}{a} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{y}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (6.3)$$

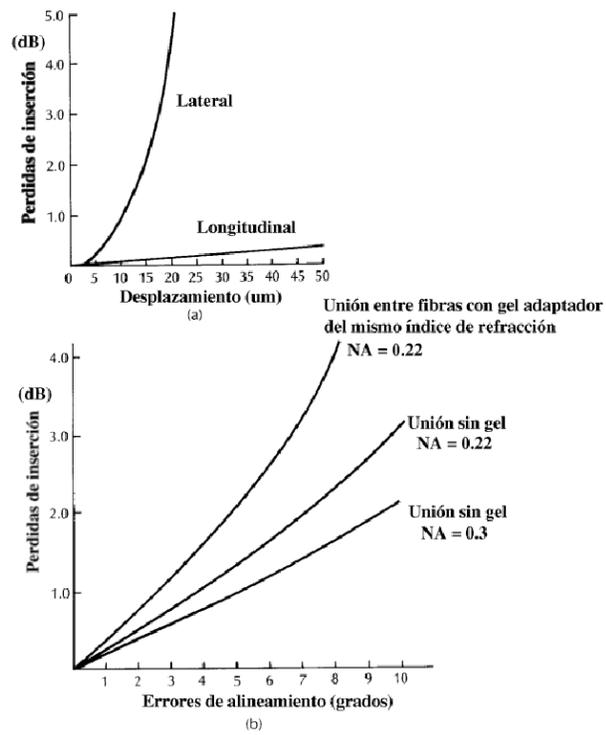


Figura 6.2: Atenuaciones por alineamiento incorrecto

resultando que la atenuación en decibelios es:

$$Loss_{\eta_{at}} = -10 \log_{10} \eta_{at} dB \quad (6.4)$$

Los resultados obtenidos por esta fórmula son ligeramente mayores que los medidos ya que el que los modos estén todos igualmente excitados es un caso especial, de todas formas es una buena aproximación. También en algunas ocasiones se puede ver la fórmula 6.3 simplificada eliminando la primera fracción lo que equivaldría a considerar que $n_1 = n$ y esto será así si, como hemos visto en el apartado anterior, tenemos un gel intermedio que tenga el mismo índice de refracción del núcleo de las fibras, o bien éstas están tan juntas que suponemos que no hay aire en medio. De todas formas la fórmula 6.3 se refiere a fibras de índice abrupto. El mismo cálculo pero para fibras de índice gradual y considerando que no hay diferencias en los índices de refracción ($n_1 = n$) sería

$$\eta_{at} = 1 - \frac{2}{\pi} \left(\frac{y}{a} \right) \cdot \left(\frac{\alpha + 2}{\alpha + 1} \right) \quad (6.5)$$

Para el cálculo de la atenuación en decibelios recurriríamos a la ecuación 6.4.

Con un perfil parabólico tendríamos $\alpha = 2$ y por tanto

$$\eta_{at} = 1 - 0.85 \left(\frac{y}{a} \right) \quad (6.6)$$

sin embargo para un perfil abrupto y con la misma fórmula

$$\eta_{at} = 1 - 0.64 \left(\frac{y}{a} \right) \quad (6.7)$$

esta solución coincide prácticamente con la fórmula 6.3 con lo que puede apreciarse que las pérdidas son mayores para la fibra gradual que para la abrupta, recordemos que se vio que para una fibra abrupta y una gradual con igual NA era más simple acoplar la luz en la abrupta.

Se acepta como norma que para tener pérdidas de inserción menores que 0.5dB (lo máximo aconsejable) debidas a errores de alineamiento por desplazamiento lateral estos deberán ser menores del 5% del diámetro del núcleo de la fibra.

Si comparamos los resultados de las fórmulas anteriores con la figura 6.2 podremos ver que las fórmulas son aproximaciones pesimistas aunque nos sirven para nuestros propósitos.

Eficiencia angular Pasemos ahora a las pérdidas por errores de alineamiento angular. La fórmula siguiente predice con exactitud suficiente la eficiencia de acoplamiento angular η_{ang}

$$\eta_{ang} = \frac{16 \left(\frac{n_1}{n} \right)^2}{\left(1 + \left(\frac{n_1}{n} \right) \right)^4} \left[1 - \frac{n\theta}{\pi n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (6.8)$$

podemos observar que este tipo de errores se suaviza utilizando fibras con NA grande. Como siempre esta solución no es perfecta ya que es este caso se estropea la eficiencia por separación longitudinal.

Eficiencia longitudinal Aunque no se vayan a tratar las ecuaciones que lo rigen si es interesante que se describan los motivos por los que sucede. La distribución angular a la salida de la fibra sigue el mismo patrón que la luz que ha sido guiada desde la entrada, a la entrada tenemos que la apertura numérica nos indica el patrón angular ya citado, de tal forma que a la salida tendremos un cono cuyo ángulo viene determinado por la apertura numérica (ver figura 6.3)

y por tanto un incremento de la NA decrementará la eficacia de este acoplo en oposición de lo que ocurre en la eficacia angular

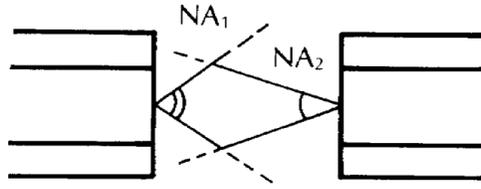


Figura 6.3: Acoplamiento entre dos fibras separadas longitudinalmente.

6.1.3 Pérdidas en uniones de fibras monomodo

Como cabe esperar debido a las reducidas dimensiones del núcleo de una fibra monomodo la atenuación de la señal producida por errores de alineamiento serán mucho mayores que en las fibras multimodo. Una formulación simplificada para estos errores nos dice que la atenuación calculada será

$$Loss_{lat} = 2.17 \left(\frac{y}{w} \right)^2 dB \quad (6.9)$$

donde w es el tamaño del punto (spot) normalizado para el modo fundamental y tiene el valor

$$w = a \frac{\left(0.65 + 1.62V^{-\frac{3}{2}} + 2.88V^{-6} \right)}{\sqrt{2}} \quad (6.10)$$

donde a es el radio del núcleo de la fibra y V es la frecuencia normalizada. También hay fórmulas para el cálculo de la atenuación por errores de alineamiento angular en función del θ de error

$$Loss_{ang} = 2.17 \left(\frac{\theta w n_1 V}{a (NA)} \right)^2 dB \quad (6.11)$$

en este caso también w tiene el valor dado por la ecuación 6.10. Cuando tenemos ambos errores de alineamiento no es cierto que pueda calcularse el error total como suma de ambos aunque para errores menores de 0.75dB se obtiene una aproximación razonable.

Obviando las magnitudes de la eficacia de cada caso concreto lo que cabe apreciar es que para las fibras monomodo las pérdidas dependen fuertemente de la frecuencia normalizada de la fibra especialmente en los errores de alineamiento angular, en este caso y para fibras de baja atenuación es importante que la desviación sea menor de 1° .

El último modelo teórico que vamos a citar es uno que nos permite calcular las pérdidas intrínsecas en una unión entre dos fibras, es decir, considerando que no hay errores de alineamiento de ningún tipo siempre habrá unas pérdidas no evitables, éstas se pueden calcular según

$$Loss_{int} = 4 \log \left[4 \cdot \left(\frac{w_{01}}{w_{02}} + \frac{w_{02}}{w_{01}} \right)^{-2} \right] dB \quad (6.12)$$

donde w_{01} y w_{02} se pueden calcular a partir de la fórmula 6.10. Podemos ver que de ser iguales w_{01} y w_{02} estas pérdidas desaparecen.

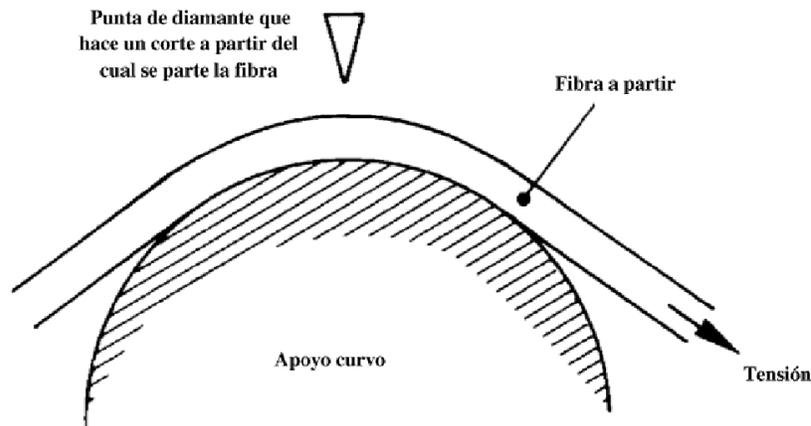


Figura 6.4: Preparación del extremo de la fibra. Rayado con una punta de diamante y rotura mediante tensión.

6.1.4 Tipos de uniones fijas entre fibras

Una unión permanente entre dos fibras se conoce en inglés como *fiber splice*. Se utiliza para alargar conexiones, partiendo de fibras no suficientemente largas, cuando no es necesario ni amplificar la señal ni conectar y desconectar repetidamente en este punto. Hay dos tipos de uniones permanentes, que son la unión por fusión o soldadura y la unión mecánica.

La soldadura se efectúa mediante el calentamiento localizado de dos extremos prealineados consiguiendo que se reblandezcan y se fusionen, dejándolos después enfriar. Las uniones mecánicas consisten en mantener las fibras alineadas sin cambiar nada en ellas, puede conseguirse por varios métodos que incluyen el uso de tubos en los que se introducen las fibras o ranuras en forma de V en las que se encastran los extremos de las fibras. Todas estas técnicas buscan optimizar el comportamiento de la unión a través tanto de una correcta preparación del extremo de la fibra como del alineamiento entre ellos. En término medio las atenuaciones producidas por este tipo de uniones en fibras multimodo suelen estar entre 0.1 y 0.2 dB lo que es mejor que lo que se consigue mediante conectores (apartado [\REF{CONECTORES}](#)). Además podemos apreciar que las pérdidas de este tipo de uniones son menores que las que habíamos visto para la reflexión Fresnel. Esto es debido a que en la soldadura no hay ningún tipo de intercara y que en las uniones mecánicas se utilizan geles de índice de refracción adecuado para que tampoco haya variación del índice. El problema de este tipo de uniones permanentes es que son complejas de realizar en campo abierto (cuando se está tirando la fibra) por problemas ambientales.

Un requerimiento para fibras que se van a unir de forma permanente es que sus extremos han de ser suaves y su superficie ortogonal con el eje de la fibra. Esta preparación de los extremos se hace mediante herramientas especiales que rayan la superficie de la fibra (el utensilio debe tener punta de diamante) para que posteriormente la raya hecha se extienda hacia el interior de la fibra debido a la tensión que se ejerce sobre ella (ver figura 6.4) el proceso puede realizarse sobre superficies curvas o planas e incluso pueden a posteriori pulirse las superficies resultantes.

Vamos a describir brevemente los sistemas de conexionado permanente de fibra

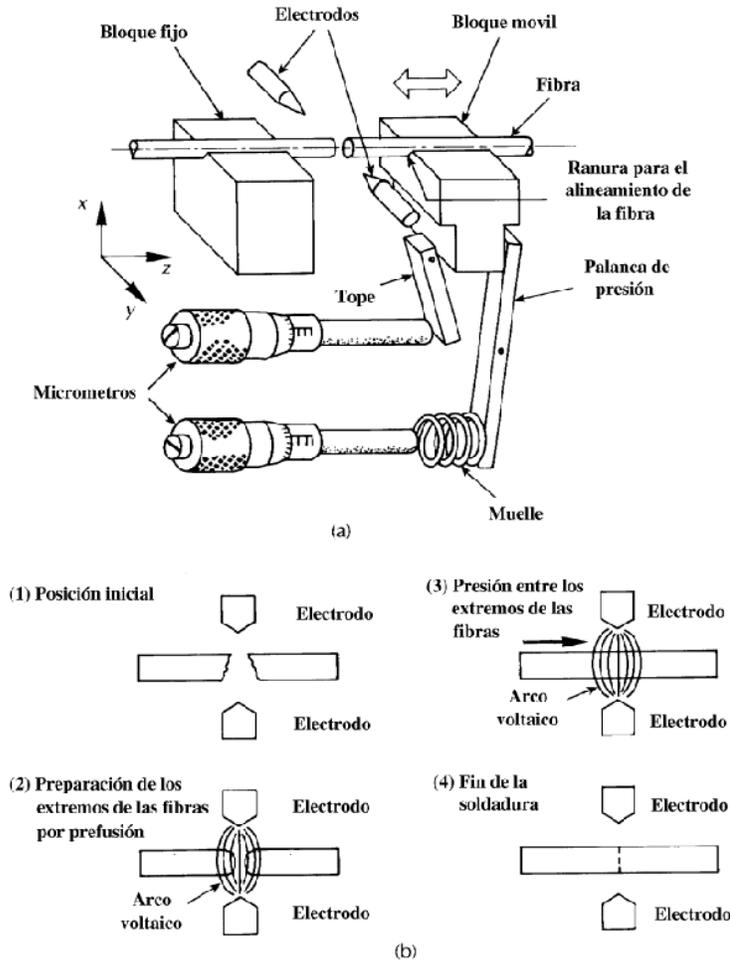


Figura 6.5: Soldadura por arco voltaico.

Conexiones por soldadura La soldadura de fibras implica el calentamiento hasta su punto de fusión de los extremos de dos fibras preparadas con la aplicación de suficiente presión axial, como para que se unan. Es pues imprescindible que las fibras desnudas (sin capas protectoras) estén correctamente posicionadas y alineadas para que en el punto de fusión haya continuidad y no errores de alineamiento.

Los sistemas de calentamiento pueden ser varios, aunque los más usados son los arcos voltaicos. Esa técnica ofrece la ventaja de ser un método de calentamiento puntual fácil de controlar²

La técnica, que se aprecia en la figura 6.5, ilustra los pasos a seguir en este proceso. En la parte (a) de la figura se aprecia el método de alineamiento mediante microposicionadores, mientras que en la parte (b) vemos que inicialmente se acercan los extremos de las fibras (que no tienen que estar bien terminados), el segundo paso es la prefusión, tras la cual los extremos de las fibras quedan adecuadamente preparados para la soldadura, después se acercan las fibras y haciendo presión entre ellas se descarga de nuevo el arco produciéndose así la soldadura. Por este método se han conseguido atenuaciones menores de 0.1dB.

El problema aparece cuando se intentan soldar fibras monomodo ya que los núcleos tienen dimen-

²Por contraposición a sistemas de calentamiento por llama.

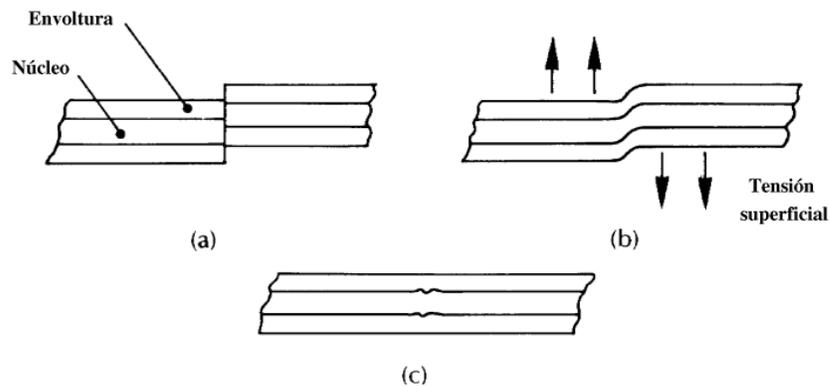


Figura 6.6: El fenómeno del autoalineamiento ocurre según los pasos que se ven en la imagen y vemos como la tensión superficial acaba dejando las fibras alineadas aunque con problemas en la intercara.

siones menores de $10\mu m$ y por tanto se necesitan errores de alineación menores de $1\mu m$. Para resolver este problema que parece insoluble nos ayuda la madre naturaleza mediante el fenómeno de la tensión superficial que va a conseguir un autoalineamiento gracias al cual se consiguen pérdidas de 0.3dB. El fenómeno del autoalineamiento puede verse en la figura 6.6

Uno de los inconvenientes de este sistema de unión permanente es que el calor necesario para fundir los extremos de las fibras debilita las zonas próximas al punto de soldadura de forma que la fragilidad de la fibra aumenta y dado que hemos tenido que desnudar la fibra será el punto en que más fácilmente pueda producirse la rotura debido a la interacción con el ambiente. Pero también hay ventajas adicionales y es que hay sistemas de soldadura automática que permiten hacer esta labor en el campo.

Hay varios métodos para contactos fijos sin soldadura. Un método bastante común es la utilización de un capilar que puede ser cilíndrico o rectangular (ver figura 6.7) la idea introducir la fibra en el capilar de forma que el alineamiento esté forzado y rellenar el capilar con un adhesivo transparente (suele ser resina) con el índice de refracción del núcleo de la fibra. Se han conseguido con este método atenuaciones medias de 0.1dB en fibras tanto multimodo como monomodo. El problema en los cilindros aparece en la tolerancia de los capilares utilizados y debido a ello en productos comerciales las pérdidas suelen estar alrededor de 0.5dB. Para solucionarlo se utilizan los cuadrados en estos se han conseguido de forma comercial pérdidas menores de 0.1dB.

Otro método es el de las rendijas en forma de V (*V-grooves*) que pueden verse en la figura 6.8. En este caso las fibras se colocan en la rendija, se ponen lo más cerca posible, se deposita el adhesivo y posteriormente se presionan mediante una superficie plana fijando la estructura y así se consiguen atenuaciones de 0.1dB.

Hay otros métodos que consiguen para usuarios no expertos uniones con pérdidas menores de 0.03dB y suelen ser usados en conexiones comerciales y que consiste en unos conectores asimétricos que mediante rotación y un adecuado sistema de medida encuentran el punto de unión con menos pérdidas y se amarran finalmente mediante un muelle. Este método conocido como de conexión rotatoria es el más utilizado en la actualidad.

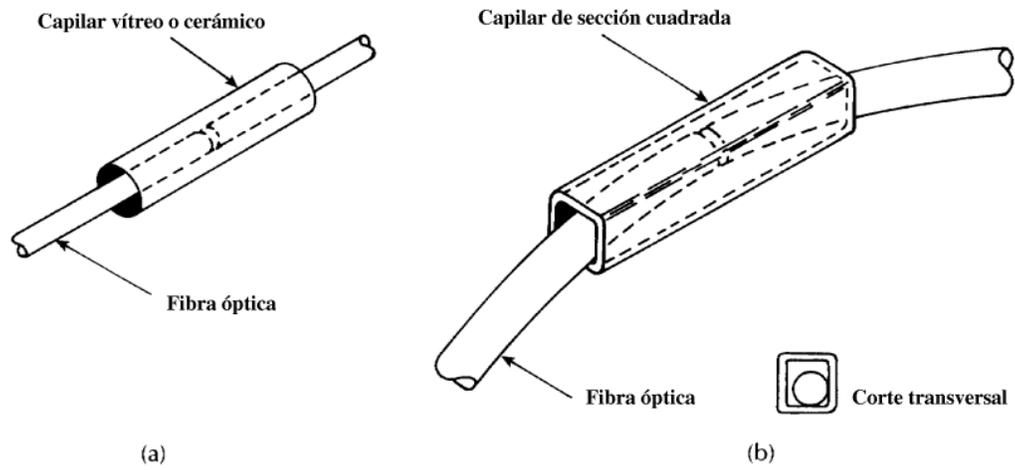


Figura 6.7: Técnicas para conexión de fibras sin soldadura: (a) tubería cilíndrica. (b) tubería de sección cuadrada.

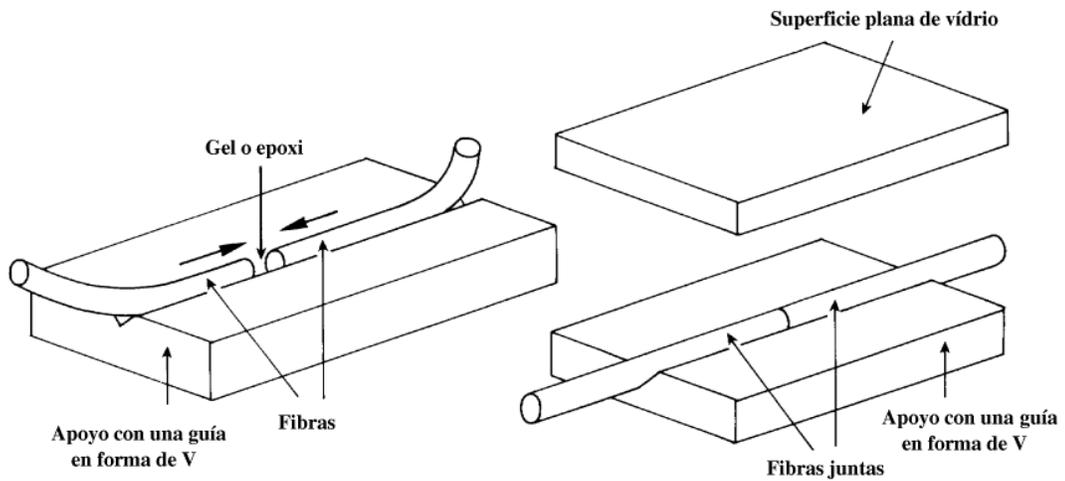


Figura 6.8: Uniones con rendijas en V

6.2 Conectores para fibra

Los conectores desmontables tienen una mayor complicación ya que deben mantener una mínima atenuación en numerosas conexiones y desconexiones. Por tanto el diseño del conector debe permitir la conexión y desconexión sin problemas de alineamiento, este proceso mecánico es fácil ver que puede llevar a la degradación de la unión.

Para mantener características óptimas los conectores también deben proteger a los extremos de las fibras del daño que pueden sufrir al manejarlos, debe ser insensible a factores ambientales (como humedad o polvo) y debe soportar la tensión del cable. También debe (idealmente) ser un componente de bajo costo (no es cierto) y permitir la conexión de forma simple. Tras todo esto cabe afirmar que hay que analizar a los conectores de fibra bajo una triple perspectiva

- El punto de conexión, que ha de proteger el extremo de la fibra.
- El alineamiento entre fibras para conseguir un acoplamiento óptico óptimo.
- La carcasa, que mantiene la conexión y el alineamiento de las fibras, protege la parte desnuda de las fibras del ambiente y proporciona rigidez a la unión.

El uso de algún material con el índice de refracción del núcleo entre las dos fibras puede ser de ayuda ya que elimina la atenuación por reflexión Fresnel y mantiene los extremos de la fibra limpios de polvo ambiente. Sin embargo no son una solución ya que por contra no es práctica la existencia de ningún material no sólido en la zona en la que se conecta y desconecta ya que los fluidos fluirán derramándose y además atraerán polvo, que no llegará a la fibra pero servirá como barrera al paso de la luz.

Hay muchos conectores para fibra en el mercado y que tienen pérdidas en el rango de 0.2 a 0.3dB. Pueden separarse en dos categorías: los conectores de proximidad (*butt jointed connectors*) y los de haz expandido (*expanded beam connectors*). La funcionalidad de los primeros descansa en conseguir que los extremos de las fibras estén lo más cercanos posible de forma que los núcleos coincidan, los segundos hacen uso de lentes de forma que el emisor expande el haz y el receptor lo enfoca al núcleo de la fibra.

6.2.1 Conectores de proximidad

Los más utilizados son los de proximidad. Vamos a describir brevemente los conectores de camisa concéntrica (*Cylindrical ferrule connectors*)

Es el conector más simple, la fibra desnuda está pegada (con resina) a una ferrula (cilindro metálico) cuyo agujero central tiene el diámetro de la fibra. Una vez fijada la fibra (estos conectores son macho) se introducirán en un cilindro guía de precisión que permite que los extremos de las fibras estén pegados. Una vez colocado el conector se fija mediante un mecanismo de retención que puede ser un muelle.

Para este tipo de conector es muy importante que los extremos de las fibras sean suaves y perpendiculares al eje de la fibra. Para conseguir esto se puede hacer de varias formas:

1. *Clivando* la fibra antes de introducirla en la ferrula.
2. Introducir la fibra en la ferrula y *clivandola* después, justo en el final de la ferrula.
3. Utilizar cualquiera de los métodos anteriores y después pulir la fibra hasta que quede justo en el extremo de la ferrula.

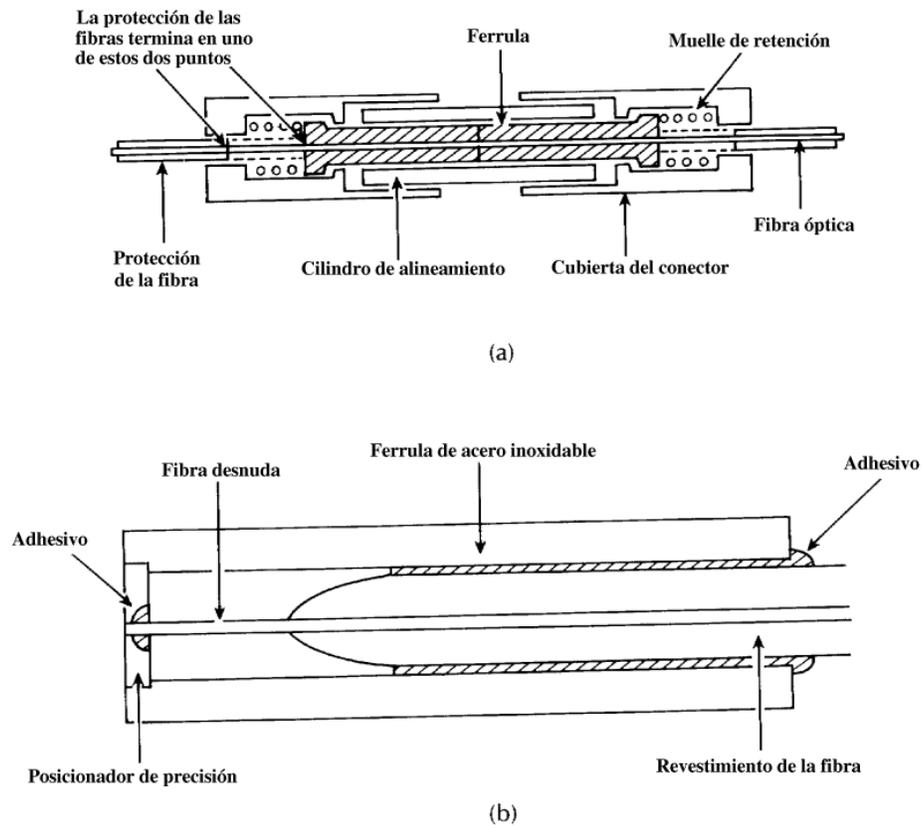


Figura 6.9: Conectores de camisa concéntrica: (a) estructura de un conector básico; (b) estructura de un conector con salidas de precisión

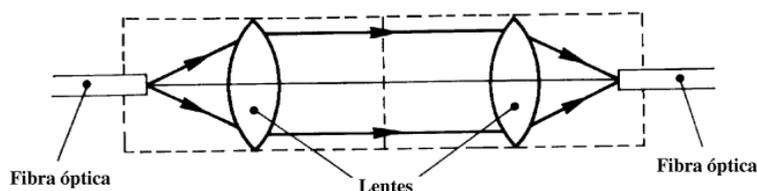


Figura 6.10: Esquema simplificado del funcionamiento de un conector de haz expandido.

El último sistema es el que da mejores resultados pero es el más tedioso y complicado, sobre todo en campo abierto.

Los errores de alineamiento del sistema hacen que las pérdidas estén en el orden de 1 a 2dB con fibras multimodo abruptas.

Para solucionar problemas de alineamiento y simplificar la fabricación de las ferrulas se añade en el extremo del conector un terminador (*watch jewel*) de precisión (figura 6.9) que será el que en poco espacio hace el trabajo que antes hacía la ferrula, con este tipo de mejoras se consiguen atenuaciones entre 0.2 y 0.3dB. Comercialmente existen varios de estos tipos de conectores, los tipos más comunes son los ST (*straight tip*), SMA (*subminiature assembly*), FC (*fiber connector*), PC³ (*physical contact*) y SC (*subscriber connector*)

Este sistema de conector no es el único, también podemos encontrarnos con conectores de ferrula bicónicos, con los doblemente excéntricos y con conectores para dos fibras y para múltiples fibras.

6.2.2 Conectores de haz expandido

La alternativa a los conectores de proximidad son estos, podemos ver su principio de funcionamiento en la figura 6.10, puede verse en la figura como la luz se expande debido a la apertura numérica de la fibra, el haz se convierte en un haz paralelo debido a una lente convergente con distancia focal adecuada (¿Cuánto vale la f para esta lente?) y posteriormente otra lente convergente enfocará este haz en el núcleo de la segunda fibra⁴

El uso de la óptica convierte el alineamiento entre conectores en algo mucho menos crítico, la distancia entre fibras ya no es importante mientras que antes era crucial. Pero por supuesto esto no es gratuito y se hace a expensas de unas exigencias angulares mayores. Este tipo de conectores son muy útiles para conexión de múltiples fibras y para placas de circuito impreso donde los alineamientos lateral y longitudinal son difíciles de conseguir.

Estos conectores tienen como ventaja de utilización que sus resultados son muy repetitivos y consiguen sin problemas atenuaciones menores de 0.5dB.

6.3 Acopladores de fibra

Un acoplador de fibra es un dispositivo que permite distribuir la luz de la fibra principal en un grupo de fibras. Suelen ser dispositivos pasivos en los que la potencia se transfiere por uno de estos métodos

³Debe decirse que hay combinaciones de tipos como los conectores ST-PC y FC-PC%

⁴Notese que el ángulo de entrada máximo de la luz es el indicado por la apertura numérica de la fibra.

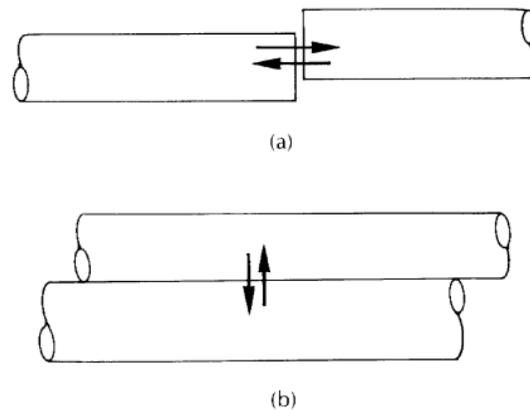


Figura 6.11: Tipos de acopladores: (a) Interacción por medio del núcleo; (b) Interacción superficial.

- A través del núcleo de la fibra mediante la unión de varios núcleos al primario
- A través de un eje perpendicular a la fibra mediante la conversión de modos guiados por el núcleo en modos que escapan del núcleo y pueden pasar a otras fibras a través de una interacción superficial.

Ambas técnicas se ilustran en la figura 6.11. También podemos encontrarnos con sistemas activos aunque estos se tratarán en el capítulo [REF{OPTINT}](#)

La descripción anterior de acoplador es la primera que apareció aunque después surgieron muchos otros tipos de acopladores, que llevan el nombre de acopladores multipuerto y que pueden ser divididos en tres grupos que pueden verse gráficamente en la figura 6.12

1. Acopladores de tres y cuatro puertos que se usan para distribución y combinación de la potencia de la señal.
2. Acopladores en estrella que se usan para distribución y combinación multipunto.
3. Dispositivos multiplexores y demultiplexores de longitud de onda (WDM), que son una forma especializada de acoplador diseñada para permitir que en una fibra en la que se transmiten en paralelo un número de longitudes de onda, estas puedan combinarse o separarse.

En el caso ideal estos dispositivos no generan pérdidas, ni generan ruido y deberían funcionar de manera independiente a la distribución de la luz en modos o a la polarización, pero nada de esto se cumple. De hecho las pérdidas en los acopladores limitan el número de terminales que pueden conectarse a la fibra, mientras que el ruido generado disminuye la relación señal/ruido en el sistema. Así pues resulta que estos dispositivos no pueden ser tratados como componentes individuales con parámetros conocidos y esto complica su uso.

No vamos a entrar en descripciones de tipos de dispositivos, ni en la forma en la que están construidos, pero sí en las definiciones de los parámetros con los que se miden las características funcionales de cada uno de ellos.

Para los acopladores de tres, cuatro puertos y multipunto se define:

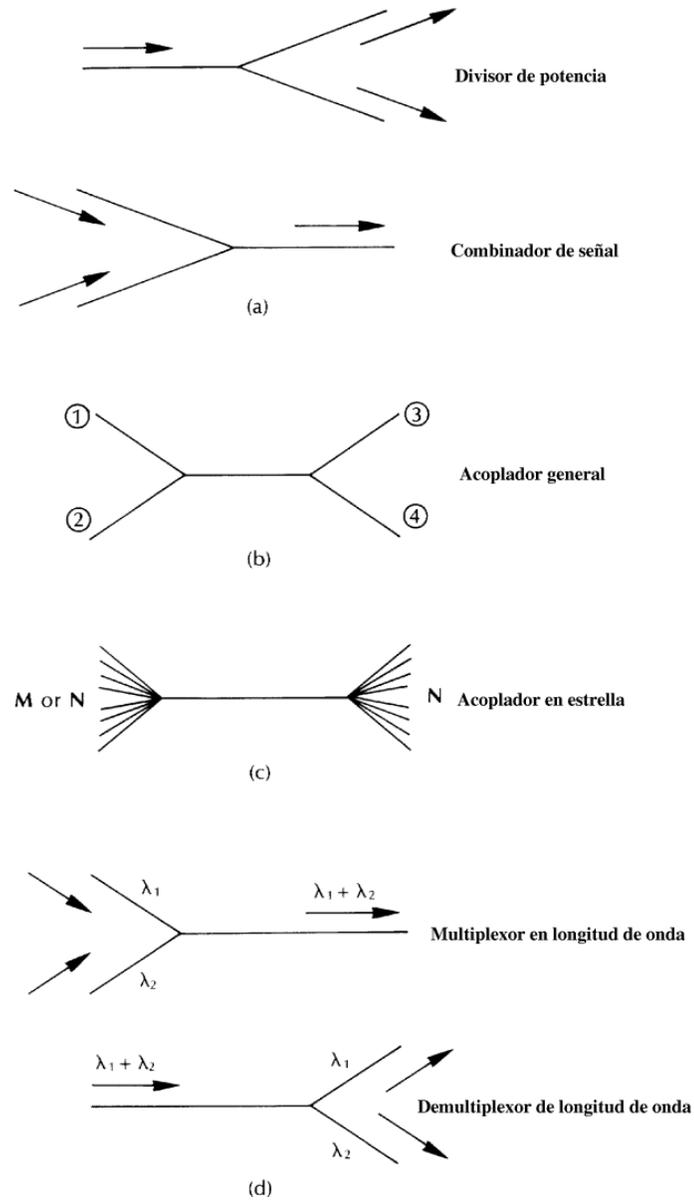


Figura 6.12: Tipos de acopladores y sus funciones: (a)acopladores de tres puertos; (b) acopladores de cuatro puertos; (c)Acoplador en estrella; (d) multiplexor o demultiplexor de longitud de onda

Pérdidas totales (*Excess loss*): es la relación de potencia de la fibra desde donde viene la señal a la suma de las potencias de las fibras a las que va la señal

$$Pérdidas.totales = 10 \log_{10} \frac{P_i}{\sum_{j=1}^n P_{0j}} \quad (6.13)$$

por supuesto este dato se puede medir para cada una de las fibras de entrada (dos en caso de un acoplador de cuatro puertos)

Pérdidas de inserción (*Insertion loss*): es la relación de potencia de la fibra desde donde viene la señal a una de las fibras a las que va la señal

$$Pérdidas.de.inserción = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_4} \quad (6.14)$$

en este caso sería las pérdidas de inserción del puerto uno al cuatro (ver figura 6.12 b)

Interferencia entre líneas (*Crosstalk*): mide la direccionalidad del trasvase de información, ya que su existencia implica que parte de la potencia de una fibra desde donde viene la señal es transferida a otra línea desde donde también viene la señal

$$Interferencia.entre.líneas = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad (6.15)$$

en este caso medimos cuanta potencia de la línea uno ha sido transferida a la línea dos (ver figura 6.12 b)

$$Relación.de.acoplo = \frac{P_3}{P_3 + P_4} \times 100\% \quad (6.16)$$

Relación de acoplo (*coupling ratio*): mide el porcentaje de la división de la potencia entre fibras de salida (otra vez figura 6.12 b)

En el caso de WDM los parámetros indicarán, relaciones similares pero referidas a cada una de las longitudes de onda transmitidas así como una descripción de las bandas en las que esté cada una de ellas.