

B. QUÍMICA INDUSTRIAL

B.1 Fibras Naturales y Artificiales

Profesor: Fernández Marzo, Florencio

Autoras: Cruz Basañez, Natalia

Goicoechea Arrufat, Ana

Hermosilla Busto, Laura

Ruiz Aizpuru, Nerea

Especialidad: Control de Procesos Químicos

Curso: 4º

ÍNDICE

ÍNDICE	

_____0	
INTRODUCCIÓN	
_____1	
0. INTRODUCCIÓN	
_____3	
1. FIBRAS NATURALES	
_____3	
1.1 Fibras de Origen Animal	
_____3	
1.2 Fibras de Origen Vegetal	
_____5	
1.3 Fibras de Origen Mineral	
_____7	
2. FIBRAS CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE	
_____9	
3. FIBRAS CELULÓSICAS NO HECHAS POR EL HOMBRE	
10	
4. BIBLIOGRAFÍA	1
C. ANEXOS (<i>Artículos</i>)	

INTRODUCCIÓN

Un polímero es una molécula de peso molecular elevado, con una estructura compleja, formado por la repetición de una estructura menor, llamada monómero, que es un producto generalmente orgánico.

Se llama polimerización a la forma de unión de unas moléculas con otras en un polímero. Existen dos tipos de polimerización: de adición o crecimiento de cadena y de consideración o crecimiento por pasos.

La polimerización por crecimiento de cadena se caracteriza porque los intermediarios del proceso (radicales libres, iones o complejos metálicos) son transitorios y no pueden aislarse.

La polimerización por pasos se producen por reacciones entre moléculas que tienen grupos funcionales. Los intermediarios de peso molecular bajo se les llama oligómeros, y se pueden aislar. Se le puede describir como una reacción química sencilla que se efectúa repetidamente.

Las polimerizaciones por crecimiento de cadena se realizan por cuatro procesos distintos:

- ***En fase condensada:*** El monómero y un iniciador se combinan en un recipiente y se calientan a la temperatura necesaria. Se debe controlar estrictamente la temperatura. Ej. PMMA.
- ***En solución:*** La reacción se efectúa en un disolvente que absorbe el calor y reduce la viscosidad del medio. Es difícil eliminar todo el disolvente. Ej. PP.
- ***En suspensión:*** El monómero y el catalizador se suspenden en forma de gotitas en una fase continua como el agua. Se necesita agitación continua. Ej. PVC.
- ***En emulsión:*** El monómero es absorbido al interior de unas micelas creadas por un agente emulsificante, como el jabón, y dentro se produce la polimerización. Ej. Pinturas.

Las clases de polímeros las podemos subdividir de dos maneras:

- ***Según su Naturaleza***

Naturales

Son sustancias sacadas de la Naturaleza y sin sufrir modificación, ejemplos de estos polímeros son: Proteínas, Polisacáridos, Caucho natural.

Sintéticos

Son polímeros creados por el hombre y se dividen en dos categorías:

- *Termoplásticos*: su característica principal es que al calentarse se ablandan o funden, y son solubles en disolventes adecuados. Están formados por moléculas de cadenas largas, a menudo sin ramificaciones.
- *Termofijos*: se descomponen al ser calentados y no pueden fundirse ni solubilizarse. Tienen estructuras elaboradas tridimensionales con reticulación; no se pueden utilizar para crear fibras, ya que para esto se necesitan moléculas lineales sin ramificación, que puedan orientarse convenientemente durante los procesos de hilado y estiramiento.

- Según su uso

Plásticos

Son polímeros o resinas que han sido moldeados, por lo general bajo presión. Sus propiedades están entre las de los elastómeros y las fibras. La característica sobresaliente de los plásticos y de sus usos es la variedad.

Elastómeros

Tienen alta extensibilidad. Tienen la propiedad de regresar de forma reversible a su posición original al eliminarse la tensión.

Adhesivos

Tienen cierto grado de extensibilidad, alta adhesión pero conservando cierto grado de cohesión. Suelen tener baja cristalinidad.

Recubrimientos de superficies

Sus características son similares a las de los adhesivos, pero además tienen gran resistencia a la abrasión. Se usan para proteger y decorar.

Fibras

Pueden tejerse o enlazarse para formar prendas dimensionalmente estables; es que no cedan demasiado. Deben ser resistentes y con tendencia a la cristalización. Todos ellos se van a estudiar con más profundidad en adelante.

0. INTRODUCCIÓN

Las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas. Se doblan con facilidad y su propósito principal es la creación de tejidos.

Los polímeros útiles como fibras son los que tienen un alto grado de cristalinidad y fuerte interacción de cadenas adyacentes, esta orientación incrementa la fuerza tensil.

Las fibras tienen una longitud muy superior a su diámetro (que no suele ser superior a 0.05 cm), están orientadas a lo largo de un solo eje. Tienen gran cohesión molecular, lo que les hace ser más fuertes que los plásticos. Su Tg y su punto de fusión son muy importantes en las fibras, una Tg demasiado alta dificulta el estiramiento, y por lo tanto, la orientación de la fibra, y si es demasiado baja, la orientación no se mantiene a temperatura ambiente.

Las fibras pueden dividirse en tres clases: fibras naturales, fibras celulósicas hechas por el hombre y fibras no celulósicas hechas por el hombre.

1. **FIBRAS NATURALES**

Se dividen en:

- **Fibras animales:** lana, mohair, seda..., que son proteínas complejas.
- **Fibras vegetales:** algodón fino, yute..., que son polímeros de celulosa.
- **Fibras inorgánicas** como el asbesto, amianto...

1.1 **Fibras de Origen Animal**

Desde un punto de vista químico, las fibras de origen animal son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos. También resisten, en unas condiciones determinadas, la acción de ciertos ácidos minerales como el ácido sulfúrico (H₂SO₄). Por el contrario, las bases o álcalis poco agresivos pueden dañar las fibras proteínicas y los álcalis fuertes como el hidróxido de sodio (NaOH) pueden disolverlas por completo. Los blanqueadores que contienen cloro también pueden dañarlas (el hipoclorito líquido no debe usarse nunca con lana ni seda). Si se utilizan sin diluir, dañan las fibras e incluso pueden disolverlas por completo.

Seda (S)

El componente principal de la seda es la fibroína proteínica. Algunos insectos y arañas producen filamentos continuos de seda en sus abdómenes. Son los únicos filamentos (un término referido a una fibra de longitud indefinida) de origen natural, que alcanzan normalmente una longitud superior a los 1.000 m.

Varios filamentos se unen formando un hilo. Sin embargo, la seda para la fabricación de hilados se produce y se utiliza en filamentos más cortos. El gusano de seda es el único insecto que produce la seda auténtica utilizada en los productos textiles. Es una de las más costosas. De alto brillo y suave textura. Sus hilos no son uniformes, pero son muy resistentes al desgaste.

Lana (WO)

La lana es el pelo de las ovejas. Es un material heterogéneo compuesto principalmente por una proteína llamada queratina. El procesamiento de la lana tiene 20 etapas, con lo cual es un producto caro. Su elasticidad o resistencia se debe a fuerzas intermoleculares. La lana no se deforma permanentemente al aplicarle una presión; es un buen aislante y puede teñirse con facilidad. También tiene sus desventajas, ya que encogen al lavarse y tiende a apelmazarse, amarillea y se apolilla si no se trata debidamente.

Fieltro

Tejido que se fabrica entrelazando fibras de lana sin hilar, a veces mezcladas con pequeñas cantidades de fibras vegetales o sintéticas. Entre las fibras empleadas junto con la lana para fabricar fieltro hay fibras vegetales como el algodón, el capoc, el ramio o el yute, y fibras sintéticas como el rayón o el nailon.

El fieltro de lana y otros paños no tejidos se emplean en almohadillas de entintado para impresoras automáticas, amortiguadores de vibración para maquinaria y aislamientos acústicos, o para pulir vidrio, granito y algunos metales. Para lubricar máquinas se emplean almohadillas de fieltro empapadas en aceite. La elasticidad del fieltro hace que sea el único material adecuado para las sordinas de los pianos y otros instrumentos musicales. El fieltro de lana se emplea también para fabricar sombreros y otras prendas de vestir.

Mohair (WM)

Es pelo de cabra. Es muy resistente al desgaste y bastante flexible, además de poseer un fuerte brillo. Se hila puro o mezclado con lana de carnero. Se usa para abrigos, vestidos, mantas y para alfombras.

1.2 Fibras de Origen Vegetal

Las fibras vegetales son principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, es resistente a los álcalis. Estas fibras son asimismo resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen. La utilización incorrecta de la mayoría de los blanqueadores puede debilitar o destruir estas fibras.

Las fibras de origen vegetal tienen muchas aplicaciones en la industria del papel. El algodón y el lino son la base de algunos papeles rugosos de calidad, mientras que las gramíneas, el cáñamo, el yute y el cáñamo de Manila se utilizan para fabricar papeles de embalaje y otros de menor calidad. El papel de los periódicos y el papel de tipo kraft se fabrican con fibra de madera tratada químicamente. Con fibra de madera y bagazo (la fibra de la caña de azúcar), y mediante un proceso similar al de la fabricación del papel, se obtienen tableros para la construcción.

Algodón (CO)

Es una forma pura de celulosa con alta cristalinidad. Está constituido por el suave pelillo celular que cubre las semillas de las plantas de algodón. Para su procesamiento se requiere menos etapas que para la lana, y es mucho más barato. Dura mucho y se tiñe con facilidad, absorbe con rapidez el agua pero se seca más rápido que la lana. Si está preencogido, es estable a los lavados, se puede planchar a temperaturas muy altas, no acumula electricidad estática, tiene alta resistencia al rasgado y al frote. La principal desventaja es que se arruga con facilidad y es muy inflamable a la llama.

Capoc

Fibra obtenida de las semillas del árbol de la especie *Ceiba Pentandra*.

Es una fibra parecida al algodón, pero como es corta y frágil, no puede hilarse igual que éste, por lo que se usa como relleno en tapicería. Por su ligereza y sus propiedades repelentes del agua, el Capoc se ha utilizado mucho en la confección de chalecos salvavidas y como material aislante.

Lino (CL)

La fibra del Lino se extrae de la planta *Linum Usitatissimum*. Ocupa el primer lugar entre las fibras de los tallos, delante del cáñamo (CH) o del yute (CJ). Su obtención exige varias etapas, lo que se hace sentir en su precio. Es fácil de teñir y es muy fresca debido a que absorbe mucha humedad, no acumula electricidad estática, tiene fuerte tendencia a arrugarse si no se le ha aplicado un tratamiento especial. Sus usos son para ropa de cama, manteles, telas para velas, y en menor medida, para ropa de vestir.

Rafia

Hierba de aproximadamente un metro de altura, de sus hojas se extrae una fibra de la cual se aprovecha en su totalidad para la confección de sombreros, estereras y cestos una vez se arranca, se seca y se peina.

Ramio

Fibra lustrosa, duradera, suave, más fuerte que el algodón y resistente a los productos químicos, el mildú y el encogimiento, toma bien los tintes, pero es difícil de hilar. Con ella se confeccionan cordeles e hilaturas y los tejidos (casi siempre mezclados con otras fibras) se usan en colchonería, tapicería y confección de otros productos.

Esparto

También llamado atocha. Se utiliza en la industria del papel, aunque su uso principal ha sido la fabricación de todo tipo de cestas y cuerdas.

Yute (CJ)

Se extrae de los tallos del yute, que se cultiva en zonas de inundaciones. Absorbe la humedad y es muy sensible a los ácidos, las lejías no le afectan. Se usa para tejidos para embalajes como sacos y también para cordonería.

Cáñamo

Fibra fuerte y dúctil. Con él se confeccionan numerosos géneros textiles, como tejidos bastos, cuerdas y lonas para fabricar velas y sacos.

Cáñamo de Cuerda

Fibra semejante al cáñamo. Esta fibra, antes utilizada para fabricar cuerdas de arco, es larga, sedosa, elástica, resistente a la putrefacción por el agua y de fortaleza semejante a la del cáñamo común. Las fibras se extraen de las hojas alargadas de la planta. Con ellas se fabrican cabos, estereras y tejidos bastos.

Cáñamo de Manila

También llamado. Las fibras más finas, de hasta 5 m de longitud, se usan para fabricar tejidos. Las externas, más bastas, se destinan a la confección de estereras y cuerdas duraderas; los cabos de cáñamo de Manila se consideran los mejores del mundo.

1.3 Fibras de Origen Mineral

La fibra de vidrio es la única fibra de origen inorgánico (mineral) que se utiliza a gran escala en los tejidos corrientes. Se ha descubierto que la fibra de amianto, que se empleaba en el pasado en aislamientos y protecciones ignífugas, es cancerígena. Para la fabricación de gasa se utiliza alambre fino de metal, mezclado con fibras orgánicas que forman un patrón determinado. Sin embargo, la mayoría del hilo metálico consiste en tiras delgadas de hoja de metal similares al espumillón. Para conseguir más resistencia, las hojas de metal se intercalan con capas delgadas o película de plástico. Otros hilos metálicos están formados por un núcleo de algodón rodeado de una tira delgada o una hebra de metal cubierta por una sustancia viscosa e impregnada de polvo metálico. El material aislante llamado lana de roca es una sustancia fibrosa hecha de viruta de fresadora, piedra caliza o roca silíceas.

Fibra de Vidrio

Es posible producir fibras de vidrio (que pueden tejerse como las fibras textiles) estirando vidrio fundido hasta diámetros inferiores a una centésima de milímetro. Se pueden producir tanto hilos multifilamento largos y continuos como fibras cortas de 25 o 30 centímetros de largo.

Una vez tejida para formar telas, la fibra de vidrio resulta ser un excelente material para cortinas y tapicería debido a su estabilidad química, solidez y resistencia al fuego y al agua. Los tejidos de fibra de vidrio, sola o en combinación con resinas, constituyen un aislamiento eléctrico excelente. Impregnando fibras de vidrio con plásticos se forma un tipo compuesto que combina la solidez y estabilidad química del vidrio con la resistencia al impacto del plástico. Otras fibras de vidrio muy útiles son las empleadas para transmitir señales ópticas en comunicaciones informáticas y telefónicas mediante la nueva tecnología de la fibra óptica, en rápido crecimiento.

Fibra Óptica

Fibra o varilla de vidrio (u otro material transparente con un índice de refracción alto) que se emplea para transmitir luz. Cuando la luz entra por uno de los extremos de la fibra, se transmite con muy pocas pérdidas incluso aunque la fibra esté curvada.

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por dispersión de luz debida a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción

mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

La aplicación más sencilla de las fibras ópticas es la transmisión de luz a lugares que serían difíciles de iluminar de otro modo, como la cavidad perforada por la turbina de un dentista. También pueden emplearse para transmitir imágenes; en este caso se utilizan haces de varios miles de fibras muy finas, situadas exactamente una al lado de la otra y ópticamente pulidas en sus extremos. Cada punto de la imagen proyectada sobre un extremo del haz se reproduce en el otro extremo, con lo que se reconstruye la imagen, que puede ser observada a través de una lupa. La transmisión de imágenes se utiliza mucho en instrumentos médicos para examinar el interior del cuerpo humano y para efectuar cirugía con láser, en sistemas de reproducción mediante facsímil y fotocomposición, en gráficos de ordenador o computadora y en muchas otras aplicaciones.

Las fibras ópticas también se emplean en una amplia variedad de sensores, que van desde termómetros hasta giroscopios. Su potencial de aplicación en este campo casi no tiene límites, porque la luz transmitida a través de las fibras es sensible a numerosos cambios ambientales, entre ellos la presión, las ondas de sonido y la deformación, además del calor y el movimiento. Las fibras pueden resultar especialmente útiles cuando los efectos eléctricos podrían hacer que un cable convencional resultara inútil, impreciso o incluso peligroso. También se han desarrollado fibras que transmiten rayos láser de alta potencia para cortar y taladrar materiales.

La fibra óptica se emplea cada vez más en la comunicación, debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia. En las redes de comunicaciones se emplean sistemas de láser con fibra óptica. Hoy funcionan muchas redes de fibra para comunicación a larga distancia, que proporcionan conexiones transcontinentales y transoceánicas. Una ventaja de los sistemas de fibra óptica es la gran distancia que puede recorrer una señal antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad. En la actualidad, los repetidores de fibra óptica están separados entre sí unos 100 km, frente a aproximadamente 1,5 km en los sistemas eléctricos. Los amplificadores de fibra óptica recientemente desarrollados pueden aumentar todavía más esta distancia.

Otra aplicación cada vez más extendida de la fibra óptica son las redes de área local. Al contrario que las comunicaciones de larga distancia, estos sistemas conectan a una serie de abonados locales con equipos centralizados como ordenadores (computadoras) o impresoras. Este sistema aumenta el rendimiento de los equipos y permite fácilmente la incorporación a la red de nuevos usuarios.

El desarrollo de nuevos componentes electroópticos y de óptica integrada aumentará aún más la capacidad de los sistemas de fibra.

Amianto

Forma fibrosa de varios minerales y silicatos hidratados de magnesio. El nombre también puede aplicarse a las formas fibrosas de calcio y hierro; cuando aparecen ligeramente teñidas reciben el nombre de asbesto. Las fibras de amianto pueden moldearse o tejerse de diferentes maneras. Al no ser inflamable y aislar bien del calor, el amianto se emplea mucho para fabricar productos ignífugos, como ropa de seguridad para bomberos, y productos aislantes, como los de las tuberías de agua caliente. La longitud de las fibras, así como la composición química del mineral, determina el tipo de producto que puede fabricarse con el amianto. Las fibras más largas se usan para tejidos, por lo general asociadas con algodón o rayón, y las más cortas para productos moldeados como las tuberías o protectores.

El amianto se ha empleado en materiales de construcción, textiles, piezas de aviones y misiles, asfaltos y compuestos de calafateo, pinturas y productos de fricción como pastillas de frenos. Sin embargo, la inhalación de polvo de amianto o de asbesto puede producir asbestosis, una enfermedad pulmonar, así como —después de un periodo de latencia de hasta 30 años o más— diversas formas de cáncer, en especial cáncer de pulmón y mesotelioma, una enfermedad oncológica de la mucosa que recubre las cavidades torácica y abdominal. Hoy no existen alternativas totalmente satisfactorias para el amianto en muchas de sus aplicaciones; sin embargo, debido a los riesgos para la salud que plantea su uso, se ha acelerado la investigación para encontrar materiales que lo sustituyan.

2. FIBRAS CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE

Son fibras cuyas materias primas provienen de la Naturaleza, pero que han sido tratadas por el hombre. Fueron las primeras fibras sintéticas.

Rayón (CV)

Su materia prima es la celulosa de la madera del abeto. Se obtiene bañando el algodón en sosa y tratado en sulfato de cobre y amoníaco (Rayón cuproamoniaco) o tratando la fibra química artificial celulósica de algodón o de pulpa de madera, mezclada con ácido nítrico y sulfúrico. Las ventajas del rayón son su bajo precio, su absorción de humedad, su estabilidad, tacto sedoso y su facilidad de teñido. Como inconvenientes están la baja resistencia en húmedo, arden con facilidad, se cargan de electricidad estática, no se deben centrifugar para evitar deformaciones.

Acetato y fibras de acetato (CA)

Como materias primas se usan residuos de hilados de algodón y celulosa pura. A éstos se les añade anhídrido acético, ácido acético glaciado y ácido sulfúrico. Para formarse sus fibras lo podemos hacer de dos formas: hilatura por fusión o hilatura con disolventes. El acetato de celulosa es más suave que el rayón pero menos fuerte; tienen poca resistencia a la abrasión y a la tensión, el color no es permanente y tiene gran facilidad para arrugarse.

Triacetato

Derivado de la celulosa por combinación de celulosa con ácido acético y/o Anhídrido acético. No encoge, no se arruga y no pierde el color (fácil de lavar). Se utiliza para confección de faldas, vestidos, ropa de deporte...

3. FIBRAS NO CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE

Son las llamadas fibras químicas sintéticas. Las ventajas de estas fibras es principalmente que no se depende de cosechas y el volumen de producción puede ser modificado a voluntad. Las propiedades de las fibras químicas pueden ser modificables a voluntad, como la resistencia, brillo, aunque tienen algunas desventajas como la absorción de agua.

Nylon

Son las más resistentes y duras de todas las fibras. Son estables, al calor de modo que pueden hilarse por fusión. Son hidrofóbicas, por lo que se secan con rapidez. Gracias a su alta resistencia a la tensión, elasticidad y resistencia a la abrasión, es ideal para aplicaciones como cables, medias y alfombras. Este tipo de fibra no deja pasar el agua, se seca rápidamente cuando se lava y no suele requerir planchado. Se us también para fabricar paracaídas, redes contra insectos, suturas para cirugía, redes de pesca... Como desventajas podemos señalar que la luz ultravioleta lo degrada, por lo tanto puede amarillear con el tiempo, además no tiene buena percepción al tacto y produce sensación de frío.

Fibras acrílicas

El más importante es el poliacrilonitrilo, que no puede hilarse fundido porque no es estable al calor; esa es la razón de que, aunque hace tiempo que se conocía, no se hiló hasta la década de los cincuenta en la que se encontró un disolvente para él. Estas fibras son resistentes a la adición de colorantes, por lo que se deben incluir en su composición otros monómeros.

Tienen una apariencia y un tacto parecido a la lana, aunque más barata. Son bastante resistentes y estables a la luz, se lavan mejor que la lana y pueden hacerse pliegues permanentes.

Un gran problema es que son inflamables a la llama, aunque no son peligrosas porque los fabricantes les añaden retardantes. Se usan principalmente para suéteres, vestidos y calcetería, sobre todo sustituyendo a la lana.

Fibras de poliéster

La única importante es el tereftalato de polietileno. Es un polímero estable y puede hilarse por fusión. Las fibras son algo rígidas debido a la reticulación. La mayoría se usa para telas y suele estar mezclada con algodón. También se usa como guata, alfombras, tapetes y fundas de almohada.

Tiene varias desventajas: baja retención de la humedad, producen sensación de frío, además adquieren fácilmente carga estática, con lo que atrae las partículas de suciedad, aceites y grasas. Su gran densidad encarece su coste. Son resistentes y estables al lavado.

Otras fibras sintéticas

En este grupo se engloban a las fibras que pueden hilarse como tal, pero que tienen menos importancia comercial debido a sus propiedades muy concretas.

Las **fibras de polipropileno** se obtienen por fusión del polipropileno isotáctico, esto es posible debido a su ordenamiento, que hace que se puedan orientar. La forma sindiotáctica no existe en el mercado. Estas fibras son difíciles de teñir y una mala percepción al tacto, sin embargo son baratas, ya que su densidad es baja. Son poco propensas a la electricidad estática, no son inflamables y son poco reactivos químicamente. Como propiedades negativas tienen bajo punto de fusión, baja Tg y es poco estable a la luz. Sus usos son para bajoalfombras, telas y cuerdas para muelles, ya que flotan.

Las **fibras de poliuretano** se conocen con el nombre de Spandex y son elastoméricas. Es un copolímero. Estas fibras se usan en lencería y en trajes de baño. Tienen baja resistencia en agua caliente y son vulnerables a los agentes de blanqueo y a la hidrólisis. No son atacadas por el oxígeno ni por el ozono. Resistentes a la abrasión, retienen la forma original, no se deterioran con los desodorantes, detergentes y lociones (Lycra).

Las **fibras de policarbonato** se pueden usar para hilos de hilvanar. Es soluble en disolventes de lavado en seco, por lo tanto no se puede usar para prendas.

Las *fibras de poliimididas* han sido investigadas por la empresa Du Pont. No funden ni suelen ser solubles en disolventes convencionales, por lo que no se pueden hilar por fusión, se utiliza un disolvente orgánico y después se hila en seco. Tiene una gran flexibilidad y encoge muy poco con el agua en ebullición, además de su comportamiento ignífugo y su termorresistencia. Se usa para la filtración de gases en caliente, prendas protectoras, y el más importante es como sustitución del amianto.

Las *fibras de polibenzimidazol (PIB)* tienen una gran resistencia a las altas temperaturas y a los productos químicos, por lo que se usan para prendas de protección térmica, telas filtrantes y también como alternativa al amianto. Fue una de las primeras fibras en usar la N.A.S.A., y fue para el cable de seguridad en el primer paseo espacial. No arde al aire y tiene una gran estabilidad, por lo que es de gran utilidad para la aeronáutica, armamento ligero y textiles industriales.

Las *fibras de alto módulo* son las más avanzadas tecnológicamente, sus usos son principalmente para la industria. Los más importantes son: Nomex, Kevlar, Twaron, Spectra, Tenfor. Son polímeros muy rígidos y con gran consistencia estructural, por lo que son difíciles de hilar. Al tener altas prestaciones: resistencia a la abrasión, a los productos químicos, gran tenacidad, resistencia a objetos punzantes..., su precio es caro. Se usan para la industria aeronáutica, embarcaciones (cascos), cintas transportadoras, sustitución del amianto y el acero, cables ópticos y tendidos submarinos.

4. BIBLIOGRAFÍA

- “*Física y Química de las Fibras Textiles*”.
Autor: Pablo Martínez de las Marías.
- Enciclopedia “*Encarta 99*”.
- Internet: www.arrakis.es/~jjreina/revista/articulo/fibras/fibras.htm
www.spr.net/deriplast/como_conocer_los_tejidos.htm
- Revista “*Quo*”, nº 55

Cruz Basañez, Natalia

Goicoechea Arrufat, Ana

Hermosilla Busto, Laura

Ruiz Aizpuru, Nerea

San Sebastián, M

ANEXOS

D. (Artículos)

D.1.1 Fibras Ópticas en las autopistas de la información

En este artículo se exponen las características que hacen de la fibra óptica un excelente soporte para la transmisión de información, así como los avances que han permitido transmitir varios millones de conversaciones telefónicas simultáneas, a miles de kilómetros de distancia, con un solo par de fibras ópticas.

Millones de conversaciones en una fibra óptica.

De Emmanuel Desurvire y José Chesnoy.

Los primeros cables submarinos que sirvieron para la comunicación entre continentes fueron los cables telegráficos, instalados en los tiempos de la guerra de Secesión. Les han sucedido los cables coaxiales, para realizar conversaciones telefónicas. El primer cable coaxial que unió los dos lados del Atlántico, tendido en 1955, correspondía a 48 líneas telefónicas. ¡Cuánto camino se ha recorrido desde entonces gracias a las fibras ópticas! Un solo par de estos largos y delgados cabellos de vidrio, que vehiculan la información en forma de impulsos de luz, transmite simultáneamente cerca de 500.000 comunicaciones telefónicas de un continente a otro, es decir a una distancia de 6.000 a 10.000 km.

La idea de fabricar fibras de vidrio de sílice suficientemente puro para transportar la luz a grandes distancias se ha ido abriendo camino desde finales de los años 60. El fundamento: la luz enviada por el interior de la fibra se refleja en sus paredes, lo que tiene como consecuencia guiar el haz luminoso a lo largo de la fibra, incluso cuando ésta está curvada.

La concretización de esta idea requirió tiempo: han sido necesarias sucesivas innovaciones tecnológicas relativas tanto al soporte material —las fibras ópticas— como a la manera de enviar y hacer circular la información por ellas. También se han tenido que desarrollar focos láser en miniatura (los diodos láser) y dispositivos de recepción (fotodiodos), así como la electrónica numérica de los circuitos integrados. Por todo ello, la regla general durante mucho tiempo para las comunicaciones a larga distancia fueron los enlaces de radio por satélite, que no cedieron el paso a los cables ópticos hasta el final de los años ochenta. Pero, en la actualidad, la mayor parte de las comunicaciones intercontinentales se realizan a través de cables ópticos submarinos que, depositados en el fondo de los océanos, tejen una verdadera red alrededor del planeta. De este modo, las fibras ópticas han sustituido completamente a los cables coaxiales. Y, para el usuario, un signo tangible de esta mutación a las fibras ópticas en las comunicaciones telefónicas intercontinentales fue la desaparición en 1988 del tiempo muerto de 0,4 segundos, debido al enlace vía satélite.

¿En qué reside el interés de los enlaces ópticos? ¿Cuáles son los principales desafíos que plantean a los ingenieros? Recordemos en primer lugar los principales elementos de un enlace óptico. Comprenden un foco luminoso láser, que es un diodo láser análogo al de los lectores de discos compactos, que funciona en el infrarrojo próximo (a una longitud de onda de 1,3 o 1,5 μm). La luz emitida es modulada por un transmisor, un sistema controlado por la señal eléctrica que aporta la información. Los impulsos luminosos se envían a través de la fibra; en el otro extremo, un fotodiodo (o receptor) reconvierte la señal óptica en señal eléctrica. Y ésta es transformada finalmente en sonido, imagen o texto en el teléfono, la televisión o la pantalla del ordenador.

Como en todos los sistemas de comunicación numérica, la información está codificada en forma de una sucesión de «0» y de «1», en la que cada elemento se llama «bit» (de *binary digit*). En una fibra óptica, los «0» y los «1» son transportados físicamente por una onda luminosa cuya intensidad se modula: el tiempo se divide en almenas de igual duración, y en cada almena, el «1» se codifica por medio de un impulso luminoso de una cierta intensidad, mientras que el «0» se representa por una ausencia de luz. Es el mismo principio que el de la lectura en los discos láser compactos. La codificación más extendida en la codificación «no vuelta a cero», o NVC: las almenas están unidas unas a otras. Por lo tanto, en el gráfico de la intensidad luminosa en función del tiempo, aparecen rectángulos de longitud (= duración) variable según el número de «1» sucesivos.

El teléfono estándar funciona a 64 kilobits (64.000 bits) por segundo, la futura televisión numérica lo hará a unos 100 megabits (100 millones de bits) por segundo. En las comunicaciones numéricas de alto caudal, se cuenta ahora en gigabits por segundo (Gbit/s), es decir mil millones de «0» o de «1» transmitidos por segundo en forma de impulsos luminosos. Para hacerse una idea, 1 Gbit/s representa un potencial de 15.000 conversaciones telefónicas simultáneas.

¿Por qué está limitado el caudal? No olvidemos que los impulsos que constituyen las señales están individualizados en una onda luminosa. Esta distinción sólo tiene sentido si cada almena contiene uno o mejor varios arcos de onda. Más formalmente, la teoría de la comunicación nos dice que el número de informaciones transmitidas por segundo no puede exceder a la frecuencia de la onda portadora (es decir, como máximo un bit por periodo de la onda). Esta propiedad muestra el interés de utilizar señales ópticas cuyas frecuencias van de 10^{14} a 10^{15} Hz, en vez de ondas de radio de frecuencias más bajas (del orden de 10^5 a 10^{10} Hz).

Las fibras ópticas hacen posibles caudales muy elevados, con unas pérdidas mucho menores que en los cables eléctricos

Una mayor caudal no es la única ventaja de la luz. Las fibras ópticas presentan unas pérdidas mucho menores que los cables de cobre utilizados en las transmisiones eléctricas. Tomemos un ejemplo. Para caudales de información de 1 Gbit/s, la frecuencia de la onda portadora tiene que ser por lo menos del orden del gigahercio (10^9 Hz). Pero, en este orden de frecuencias, un cable coaxial de cobre no es del todo adecuado: pierde el 99,9 % de su energía en 1 kilómetro, y aún más a frecuencias más elevadas. Este soporte no sólo sirve para señales de menor frecuencia (1-100 Mhz), y por lo tanto para menores caudales. Por su parte, las fibras de vidrio, presentan a la frecuencia de 2×10^{14} Hz (luz infrarroja de longitud de onda 1,5 μm) una transmisión del 95 % por kilómetro, lo que hace posible un alcance muy largo. La amplitud y la rapidez de los progresos se aprecian claramente cuando se sabe que la primera fibra desarrollada por la empresa norteamericana Corning, en 1970, también perdía el 99 % de la luz al cabo de solamente un kilómetro —a comparar con la misma pérdida para 100 kilómetros en el estado actual—.

Pese a estas notables transparencias, la señal termina, después de una cierta distancia, por debilitarse y parecerse demasiado al ruido de fondo de los detectores. Por debajo de determinado umbral de energía, los detectores se vuelven incapaces de distinguir sin ambigüedad los «0» de los «1». Los estándares habituales en telecomunicaciones imponen un máximo de un error por cada mil millones de bits recibidos, y esto corresponde típicamente a 500 fotones por bit. En las comunicaciones de alto caudal este límite se alcanza pronto. Veamos las cifras: la potencia óptica de un diodo láser es de algunos milivatios, lo que representan unos 10^6 fotones por segundo. A un caudal de transmisión de 1 Gbit/s, hay por lo tanto 10^7 fotones por bit. Se calcula fácilmente que con una transparencia del 95 % por kilómetro, el umbral de 500 fotones se alcanza al cabo de unos 200 kilómetros.

Para extender el alcance de los enlaces a varios centenares de kilómetros sin degradar la tasa de error, basta con mantener el número de fotones por bit por encima del valor fatídico por medio de dispositivos que regeneran la señal debilitada. Los «repetidores» optoelectrónicos aparecieron en el mercado en los años 80. El repetidor mismo incluye un fotodiodo (chip de material semiconductor sometido a una tensión) que convierte la señal óptica en una señal eléctrica, un amplificador, una báscula electrónica que decide si se trata de un «0» o de un «1», y finalmente un diodo láser controlado por la señal eléctrica resultante para la conversión inversa. El amplificador es alimentado por una fuente eléctrica, introducida en una envoltura de cobre aislada que rodea al cable óptico. A la amplificación de la señal óptica, el repetidor añade también un tratamiento electrónico de reajuste y de filtrado del ruido.

En 1988 se instaló el primer sistema de este tipo entre Francia, Inglaterra y Estados Unidos. Opera a un caudal global de $2 \times 0,28$ Gbit/s (dos pares de fibras) y está constituido por un cable submarino de 7.500 kilómetros de longitud, dotado de unos 110 repetidores situados cada 70 kilómetros. La capacidad correspondiente es de 40.000 circuitos telefónicos.

Pero los repetidores optoelectrónicos conllevaban en sí mismos una limitación. Para las distancias transoceánicas, el caudal máximo de estos enlaces por fibra óptica estaba limitado no por la fibra misma, sino por la rapidez de la electrónica de los repetidores. En efecto, para frecuencias de funcionamiento superiores al gigahercio, los circuitos electrónicos resultan caros y su fiabilidad disminuye.

Para las largas distancias es indispensable la regeneración de las señales luminosas por medio de amplificadores

Este obstáculo se ha superado gracias a la aparición revolucionaria, al final de los años 80, de los amplificadores ópticos de fibra de vidrio dopada con erbio. Un desarrollo que fue rápidamente seguido —en 1955— por su entrada en servicio en el campo de los cables submarinos. Un amplificador óptico funciona según un principio análogo al de un láser. Los átomos de erbio contenidos en la fibra se excitan por medio de un diodo láser auxiliar que los «bombea» a un estado de energía superior, energía que pueden ceder al desexcitarse para amplificar la señal debilitada que pasa por la fibra. De este modo la potencia de la señal óptica se multiplica en un factor que va de 100 a 10.000.

En las telecomunicaciones ópticas, el interés de utilizar estos amplificadores ópticos en vez de los electrónicos es enorme. En primer lugar, como los amplificadores mismos son fibras, se conectan por simple soldadura (efectuada por medio de un arco eléctrico) a las fibras de transmisión. Pero, sobre todo, evitan las conversiones optoelectrónicas efectuadas por los repetidores y por lo tanto la limitación de caudal asociada a estos últimos. La gama de frecuencias que acepta el amplificador óptico se extiende a menudo a varios terahercios ($1 \text{ Thz} = 1.000 \text{ Ghz}$), un intervalo que engloba muy ampliamente la señal a amplificar. Otra propiedad cuyo interés veremos más adelante es que se pueden amplificar simultáneamente varios canales ópticos de longitudes de onda diferentes.

Estas cualidades eran bien conocidas desde hace unos treinta años. ¿Por qué una espera tan larga? El éxito de los repetidores ópticos se explica por la puesta en común de tecnologías llegadas a la madurez: la fabricación de fibras ópticas ultrapuras, las técnicas de dopado con erbio y la fabricación de los diodos láser necesarios para los amplificadores.

Volvamos atrás, hasta los años sesenta. Era justo el inicio de los láseres y Elias Snitzer, de la American Optical Company, ya había inventado los láseres a base de vidrios dopados con tierras raras. En particular, su equipo estudió fibras amplificadoras dopadas con la tierra rara neodimio (Nd), caracterizadas por un rendimiento de bombeo altamente eficaz. Luego, durante los años setenta, investigadores de la Universidad de Stanford y de los laboratorios AT&T-Bell exploraron las posibilidades del bombeo por medio de diodos láser de estas fibras al neodimio, con vistas a desarrollar las telecomunicaciones ópticas a una longitud de onda de 1,06 μm .

Lamentablemente para estos intentos, los rápidos progresos de los diodos de semiconductores permitieron mientras tanto fabricar fuentes infrarrojas eficaces y fiables, que proporcionaban directamente una señal a las longitudes de onda de 1,3 μm y 1,5 μm , las más adecuadas para las telecomunicaciones. Y no fue hasta 1985 que un grupo de la Universidad de Southampton (Gran Bretaña) demostró que también las fibras dopadas con erbio podían emitir y amplificar la luz a 1,5 μm de longitud de onda. Algunos meses más tarde, un equipo dirigido por uno de nosotros en los laboratorios AT&T-Bell empezaba a descubrir las notables propiedades físicas de estas fibras y su interés para las comunicaciones a muy alto caudal.

Los trabajos iniciales de Southampton y de AT&T-Bell se consideraron inicialmente con una cierta indiferencia, ya que la tecnología de los repetidores optoelectrónicos estaba entonces relativamente a punto. Se pensaba que el aumento del caudal seguiría de forma natural a los progresos de la electrónica de los repetidores, mientras que la amplificación óptica estaba en un terreno exploratorio.

Un adelanto importante: la puesta a punto de amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio

Además, subsistía un problema importante en el amplificador de fibra dopada: el láser auxiliar de bombeo necesario para la excitación de los átomos de erbio. Tanto los investigadores de Southampton como los de AT&T-Bell recurrían a potentes y voluminosos láseres de laboratorio que emitían en el rojo y el verde, unas longitudes de onda por lo demás inadecuadas para la tecnología de las telecomunicaciones —de ahí el escepticismo inicial de los expertos—. La solución se logró desarrollando nuevos diodos láser, potentes —capaces de emitir varios centenares de milivatios de luz— y cuyas longitudes de onda infrarrojas son precisamente las requeridas para bombear el erbio. Estos diodos, alimentados en corriente eléctrica por una línea auxiliar, y encapsulados con su bobina de fibra dopada con erbio en una caja, se podían integrar entonces fácilmente en los cables ópticos.

La fibra dopada con erbio posee dos cualidades suplementarias. En primer lugar la ganancia —es decir el factor de amplificación— es insensible a la polarización de la señal incidente (la polarización caracteriza la dirección en la que vibra el campo eléctrico asociado a la onda luminosa). Es una baza esencial, ya que el estado de polarización de las señales se modifica de forma aleatoria a medida que se propagan por la fibra.

Además, el amplificador no deforma las señales, las amplifica idénticas. Esta propiedad subsiste en condiciones extremas de funcionamiento. Por ejemplo, con una potencia de entrada demasiado elevada disminuye la ganancia pero la señal no se distorsiona, a diferencia del caso de los amplificadores electrónicos.

A las tres grandes bazas del repetidor de fibra dopada con erbio (bombeo eficaz por diodo láser, insensibilidad a la polarización y ausencia de distorsión) se añaden la compatibilidad con las fibras estándar (sin reflexiones parásitas), las escasas pérdidas en las conexiones, el ruido mínimo, la insensibilidad a la temperatura entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Según las aplicaciones, la zona de ganancia explotable alrededor de la longitud de onda de $1,5\text{ }\mu\text{m}$ se extiende de 100 a 3.000 GHz.

Aumentar el caudal haciendo pasar varias longitudes de onda por una misma fibra

La carrera hacia los altos caudales también se ha beneficiado del desarrollo de técnicas de *multiplexado* y de *conmutación*. El multiplexado consiste en transportar por un mismo soporte físico, en este caso la fibra óptica, las señales destinadas a un gran número de abonados. La conmutación es una operación de direccionamiento a nivel de la red global, gracias a la cual cada destinatario recibe al final de la línea la información que se le envía.

De momento el multiplexado más utilizado es el llamado temporal. Consiste en imbricar temporalmente las informaciones de cada abonado en tramos sucesivos. Demos un ejemplo: si se asimila el mensaje de un abonado a las púas de un peine, el multiplexado en tiempo equivale a superponer los peines de diferentes abonados desplazándolos ligeramente unos respecto a otros. En la recepción, cada canal temporal es «demultiplexado» y dirigido luego a su destinatario. Las funciones de multiplexado/demultiplexado temporal se pueden realizar electrónicamente por medio de circuitos integrados ultrarrápidos (existen demostraciones de laboratorio que alcanzan los 40 Gbits/s). No obstante, el coste prohibitivo de estos circuitos para caudales muy elevados sugiere efectuar el multiplexado temporal por medios puramente ópticos, una vía actualmente muy explorada.

En las próximas generaciones de cables ópticos, el aumento del caudal se garantizará por medio de una técnica que se superpondrá a la primera: el multiplexado en longitud de onda, también conocido por su denominación americana WDM (Wavelength-Division Multiplexing). Consiste éste último en enviar varias señales de diferentes longitudes de onda simultáneamente por la misma línea. El multiplexado y demultiplexado en longitud de onda se efectúan por medio de componentes ópticos pasivos, de modo similar a la descomposición y la recomposición de los colores del arco iris por un prisma. El multiplexado en longitud de onda también abre perspectivas de direccionamiento óptico en las redes. De esta manera, las comunicaciones se podrán dirigir de una vez por todas en tal o cual dirección según su longitud de onda. Por ejemplo, en las redes con encrucijadas, algunos países recibirán las longitudes de onda cortas y otros las largas: un direccionamiento automático de gran sencillez. Todas las grandes redes a instalar antes del año 2000 se basan en la técnica del WDM. Por ejemplo la red SeaMe We III, de una longitud de 20.000 km, que conectará Europa (Alemania, Gran Bretaña) con el sudeste de Asia (Singapur) conectará, en 1998, veinte estaciones con esta técnica.

Se plantean entonces dos preguntas importantes: ¿cuál es el alcance máximo de los enlaces amplificadas? ¿Hasta qué caudal de información se puede llegar? Ya que, cuando se alcanzan caudales de más de 10 Gbit/s a distancias del orden 10.000 km aparecen otras dificultades. En primer lugar las fibras conservan, pese a las precauciones tomadas en su fabricación, una propiedad bien conocida de la materia transparente: la de dispersar los colores. Es exactamente la misma propiedad que es la responsable de la descomposición de la luz blanca por un prisma de vidrio. Aprovechada en el multiplexado en longitud de onda evocado más arriba, esta propiedad constituye por otra parte un inconveniente.

Recordemos que la velocidad de propagación de la luz en la materia transparente depende de la longitud de onda. El índice de refracción óptico (cociente entre la velocidad en el vacío y la velocidad en el medio material) también es por lo tanto función de la longitud de onda, y ésta es la razón por la que un prisma desvía con ángulos diferentes los rayos de diferentes colores.

En una fibra óptica, este efecto de dispersión cromática tiene como consecuencia el aumento de la anchura de los impulsos. Todo se debe al hecho de que un impulso luminoso breve no tiene una longitud de onda (o una frecuencia) perfectamente determinada. En efecto, una onda de frecuencia exactamente definida, es decir una senoide perfecta, se extiende hasta el infinito por los dos lados.

Supongamos que se toma solamente un pequeño fragmento de esta senoide, a modo de impulso breve. Matemáticamente, este fragmento de senoide equivale a la suma de una infinidad de sinusoides completas que difieren en su amplitud y en su frecuencia. El impulso individualizado en la onda portadora contiene por lo tanto unas componentes suplementarias, de longitudes

de onda ligeramente diferentes de las originales. Y cuanto más breve es el impulso, más extenso es el intervalo de frecuencias representado. Debido a la dispersión, las diferentes componentes de la señal se propagan por la fibra a velocidades diferentes, según la longitud de onda de cada una. Los impulsos se ensanchan, de la misma forma que un pelotón de corredores se estira en una carretera. Por lo tanto se pueden llegar a mezclar con los impulsos vecinos, provocando errores de detección. Aunque la dispersión cromática resulta aceptable a los caudales citados más arriba, este inconveniente pesa doblemente a muy altos caudales. Cuanto más elevado es el caudal, más breves son y más próximos están unos de otros los impulsos. Y como los impulsos muy breves contienen más componentes que los largos, tienden a ensancharse más, con lo que aumenta superposición entre impulsos sucesivos. Por lo tanto la dispersión cromática limita muy pronto el caudal.

Análogamente, las fibras no transmiten exactamente a la misma velocidad los modos de polarización diferente. Y a consecuencia de la interferencia de polarización debida a las fibras, los impulsos están constituidos por una mezcla aleatoria de polarizaciones. Los bits transmitidos terminan por desdoblarse causando errores de detección.

Segundo problema importante: un efecto que se podría llamar *dispersión no lineal*. A partir de cierto nivel de intensidad, el índice de refracción del medio empieza a variar en función de la intensidad. Por lo tanto las intensidades pequeñas no viajan a la misma velocidad que las grandes. Pero la intensidad no es constante en las transmisiones ópticas. En el modo NVC, una señal luminosa no dibuja una almena perfecta, sino más bien una envolvente que es una aproximación y que presenta una variación continua de intensidad cuando el símbolo transmitido pasa de «0» a «1» e inversamente.

En el otro tipo de transmisión (VC), las señales se transmiten en forma de impulsos individuales bien separados. En este caso, para un «1» la intensidad es máxima en el centro del bit y decrece hasta anularse en sus bordes (de ahí la expresión «vuelta a cero o VC»). Un «0» corresponde a una ausencia de luz durante la duración de un bit. En los dos casos señalados, NVC y VC, la dispersión no lineal provoca una deformación (ensanchamiento o estrechamiento) de las señales, con las mismas consecuencias que antes. Por lo tanto, no se puede aumentar arbitrariamente la energía de las señales para disminuir la tasa de errores: por encima de una cierta intensidad, esta tasa se pone a crecer.

Existe un medio elegante de escapar de este dilema: es un regalo de la naturaleza llamado solitón. Se trata de un impulso muy breve que conjuga idealmente la dispersión cromática y la dispersión no lineal neutralizándolas. El solitón es una señal cuya intensidad y longitud de onda media se han calculado de forma que los efectos de dispersión (variación de la velocidad de propagación debida a la longitud de onda de una parte, y debida a la intensidad de otra) se

compensan. En nuestro pelotón de corredores, esto equivale a imaginar que el terreno es flexible como una red de circo (metáfora para la fibra de vidrio), y forma una depresión bajo el peso de los corredores: como tienen que remontar la pendiente de la red que se crea al frente del pelotón, los corredores rápidos resultan frenados. A la inversa, como tienen que bajar la pendiente de la cola del pelotón, los corredores lentos se aceleran. En consecuencia, la depresión de la red mantiene juntos a todos los corredores.

El solitón excita la imaginación de los ingenieros del mundo de las telecomunicaciones. Después de unas predicciones visionarias que datan de más de veinte años y de los primeros experimentos en fibras ópticas en 1980, las comunicaciones de muy alto caudal por solitones (20-100 Gbits/s) son ahora objeto de una intensa investigación. Pero la utilización de solitones implica algunos desarrollos técnicos, relativos por ejemplo a los dispositivos de emisión (impulsos muy breves), y al filtrado necesario para controlar exactamente la frecuencia central del solitón, muy sensible al ruido introducido por los amplificadores.

Estas técnicas se dominan, pero su introducción en las comunicaciones submarinas se ha retrasado hasta ahora por una simple razón: los sistemas convencionales (NVC) no han dejado de progresar gracias, no a la utilización de caudales cada vez más elevados (hemos visto que el límite es de 10 Gbits/s), sino a la técnica del multiplexado en longitud de onda.

Así, laboratorios norteamericanos y japoneses han demostrado la posibilidad de transmitir en NVC más de veinte longitudes de onda a 5 Gbit/s, es decir un caudal total de 100 Gbit/s, a 10.000 kilómetros. En contraste, el esfuerzo de investigación y desarrollo dedicado a los sistemas con solitones es sensiblemente menor, de ahí un progreso a una ligera distancia: «solamente» ocho canales a 10 Gbit/s (80 Gbit/s) para la misma distancia.

En los sistemas multiplexados en longitud de onda, una ventaja decisiva de los solitones sobre el NVC sigue siendo el caudal básico: con una sola longitud de onda es mucho más elevado ya que alcanza 10 Gbit/s e incluso 40 Gbit/s. Además, estos valores son directamente compatibles con los caudales estándar de las futuras transmisiones terrestres. Finalmente, hay técnicas experimentales que permiten aumentar la distancia de transmisión sin degradación. En los laboratorios de NTT de Japón, por ejemplo, los investigadores han hecho circular 10 Gbit/s por una fibra en bucle durante un cuarto de hora sin deformación de la señal —un tiempo que corresponde a un recorrido de 180.000.000 kilómetros y que solamente es limitado por la electrónica de sincronización... En Alcatel, también hemos demostrado este potencial para 20 Gbit/s, con repetidores aún más espaciados (140 km en vez de los 45 km necesarios en NVC). En el mercado de las comunicaciones submarinas, los solitones se presentan así como una alternativa muy prometedora.

Fenómenos físicos fundamentales imponen límites a los rendimientos de los amplificadores ópticos

Los problemas que limitan el caudal (tanto en modo NVC como en modo solitón) no vienen solamente de las fibras. Los amplificadores ópticos también tienen sus límites impuestos por fenómenos físicos fundamentales. Se trata en primer lugar de las fluctuaciones erráticas de la intensidad de la señal. Estas se deben a los fotones inevitablemente emitidos por los átomos de erbio de las fibras dopadas, además de los que contribuyen a la amplificación de la señal. Este «ruido» parásito de emisión espontánea se acumula a lo largo de todo el enlace. Es la causa del límite de 10 Gbit/s sobre 10.000 km mencionado anteriormente. Se puede disminuir por filtrado óptico. También aquí tienen los solitones una ventaja, ya que soportan un filtrado relativamente severo. Entonces es posible una transmisión de 20-40 Gbit/s a 10.000 km por un solo canal de longitud de onda.

Tanto en modo NVC como en modo solitón las técnicas progresan continuamente. Por lo tanto es aventurado hacer un pronóstico sobre las capacidades últimas de uno u otro de estos sistemas de comunicaciones. A cada récord de transmisión, se descubren nuevos efectos limitantes, y nuevas innovaciones para cada uno. En cualquier caso los caudales extraordinarios citados más arriba, de 80-100 Gbit/s, ya demostrados en el laboratorio, equivalen a varios millones de conexiones telefónicas simultáneas en una sola fibra. Estos caudales, que están muy por encima de las necesidades del mercado —¿pero, por cuánto tiempo? — abren perspectivas prácticamente ilimitadas a las futuras «autopistas de la información».

Fuente: Desurvire, Emmanuel y Chesnoy, José. *Millones de conversaciones en una fibra óptica*. Mundo Científico. Junio, 1997. Barcelona. RBA Revistas.¹

¹"Fibras ópticas en las autopistas de la información", *Enciclopedia Microsoft® Encarta®* 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.