

La «edad de oro» de los sistemas de cable submarino de fibra óptica

En nuestros días, y en esta sociedad de la información, las necesidades de comunicación son un requerimiento que se ha visto impulsado por el crecimiento de Internet. Las comunicaciones transoceánicas, las conexiones virtuales con páginas web situadas en otros continentes o simplemente el hecho de mandar un fax al otro lado del mar se ha convertido en algo habitual en nuestros días.

En un mundo donde el concepto virtual se ha convertido en una palabra de uso cotidiano, muchas veces se olvida que toda la transmisión de información se realiza sobre sistemas reales, basados en fibra óptica, que conectan emisor y receptor. Aunque la historia de los cables submarinos de fibra óptica va a cumplir siglo y medio, el aumento de la capacidad de transmisión de estos sistemas ópticos es una constante demanda que obliga a los científicos a dedicar vastos programas de investigación en esta área.

Como muestra de la actividad investigadora que suscita este campo, podemos citar las palabras de Neal S. Bergano (de Tyco Submarine Systems), que mantiene que la industria del cable submarino de fibra óptica está viviendo su edad de oro. Para darnos idea de esta realidad, cabe señalar que en los años noventa se han instalado 350.000 km de fibra óptica submarina.

Las comunicaciones actuales se basan en el uso de la fibra óptica; el debate inicial que planteaba la posibilidad de transmitir la información por satélite en vez de usar sistemas submarinos se zanjó definitivamente al constatar las innumerables ventajas que, tanto desde el punto de vista económico como tecnológico, presentaba el cableado transatlántico frente a la comunicación vía satélite.

Las primeras líneas

El primer cable telegráfico transatlántico —que conectaba América del Norte y Europa— entró en funcionamiento en 1866 y en aquellos tiempos se podían transmitir unas pocas palabras por minuto. Casi un siglo después —en 1956— se estableció la primera línea telefónica transatlántica que permitía establecer 48 líneas telefónicas.

Desde el punto de vista tecnológico es importante señalar que se trataba de un sistema analógico basado en una estructura de cables coaxiales (similares a



Los cables de fibra óptica submarinos se despliegan desde barcos que tienen capacidad suficiente para tender un cable de 6.000 km.

los cables de antena de televisión). Además, debido a la atenuación o pérdida de la señal eléctrica en el proceso de transmisión, resultaba necesaria una reconstrucción periódica de la misma mediante amplificadores electrónicos. Allá por 1983, los sistemas de cableado analógicos habían incrementado su capacidad hasta permitir la presencia de 4.200 líneas de voz. Las señales transmitidas también se reconstruían en amplificadores eléctricos situados en repetidores espaciados cada 9,5 km.

Entre los años 1988 y 1989 se instalaron los primeros sistemas de fibra óptica submarina que surcaron los océanos Atlántico y Pacífico; se trataban de sistemas optoelectrónicos, en el sentido de que los repetidores convertían las señales ópticas entrantes en señales eléctricas, regeneraban los datos con circuitos integrados de alta velocidad (parte electrónica del proceso) y los retransmitían con un láser semiconductor local (parte óptica). Este carácter híbrido se eliminó sólo unos años después.

A mediados de los noventa, los sistemas submarinos de fibra óptica fueron sustituyendo la reconstrucción electrónica por la amplificación mediante fibras dopadas de erbio (EDFA) en los repetidores. Estas fibras dopadas tienen la propiedad de amplificar la señal óptica en lugar de atenuarla y lo hacen de manera mucho más rápida que a través de un dispositivo electrónico. De este modo, proporcionan la posibilidad de una conexión puramente óptica entre los continentes, eliminando el cuello

de botella electrónico de la transmisión.

Del gigabit al terabit

Los sistemas submarinos actuales utilizan EDFA para compensar la pérdida de señal en la transmisión a lo largo de la fibra óptica. Estos amplificadores ópticos se sitúan en repetidores espaciados cada 50 km a lo largo del cable y presentan anchos de banda suficientes para soportar la presencia de múltiples canales ópticos. Así, los sistemas que se desplegarán en un futuro inmediato soportarán muchos canales de varios gigabits por segundo y, ya que los cables se diseñan con varios pares de fibras, la capacidad total de estos nuevos cables será de varios terabits por segundo (Tb/s).

Por ejemplo, el sistema de cable submarino Hibernia, que está siendo construido por Worldwide Fiber International, entrará en servicio el próximo año y proporcionará cerca de 2 Tb/s de capacidad entre Europa y América del Norte.

Una vez construidos, los cables de fibra óptica submarinos se despliegan desde barcos que tienen capacidad suficiente para almacenar y tender un cable completo de 6000 km en un solo viaje. La mayoría de cables se han diseñado para operar a gran profundidad (hasta 8 km) y, curiosamente, es esta parte del cable la que posee el diámetro más pequeño, ya que el agua a tales profundidades constituye un ambiente completamente benigno que hace innecesaria una protección mayor. En áreas donde se requiera una mayor pro-

tección mecánica se añaden alambres al cable para aumentar su resistencia. Cerca de la costa, el cable se entierra para prevenir cortes accidentales provocados por equipos pesados como aparejos de pesca o anclas de barcos.

La transmisión de la información

En cuanto al procedimiento de transmisión de la información, el formato de señalización básico es simple de visualizar. Ceros y unos binarios se envían mediante la presencia o ausencia de impulsos de luz, como una linterna con un interruptor para transmitir un mensaje en código Morse.

En vez de impulsos largos o cortos (líneas y puntos), usamos flases de luz regulados con gran precisión para representar los datos binarios. En vez de una linterna, los sistemas de transmisión modernos usan un láser que es encendido o apagado mediante un modulador electroóptico. La dificultad que se genera desde el punto de vista tecnológico es que se transmiten cientos de billones de estos impulsos por segundo a través de un camino óptico de millones de metros de longitud.

Aunque en este artículo no vamos a entrar en detalles sobre las características del modo de transmisión de la señal, sí que diremos que un formato que se ha estudiado ampliamente en la transmisión de datos a largas distancias es el llamado solitón óptico (impulsos de información que no se deforman en su propagación). Durante los últimos años, los autores de este artículo vienen desarrollando una línea de investigación sobre la propagación de solitones (en particular, en los llamados sistemas con dispersión controlada) en el seno del departamento de Óptica de la Facultad de Física de la Universidad de Valencia.

Como hemos visto, se ha avanzado mucho desde los primeros cables de fibra óptica que revolucionaron las telecomunicaciones internacionales en los ochenta. Las redes de cable de fibra óptica sustentan hoy la mayor parte de las comunicaciones de largo alcance de voz y datos, tanto en tierra como a través de los mares.

* Departamento de Óptica de la Facultad de Física. Universidad de Valencia

** Departamento de Matemática Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Valencia.