

TENDENCIAS EN TELECOMUNICACIONES ÓPTICAS

C. E. Pérez Valenzuela¹, J. León Téllez¹ y P. Pellat-Finet²

¹Departamento de Física, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

²Université de Sciences et Techniques, Lorient (Francia).

Grupo de Óptica-láser, Universidad del Cauca

Resumen

Se presenta una visión general de los principios básicos y tecnologías de las telecomunicaciones ópticas, con particular énfasis en la dispersión por polarización (polarization mode dispersion - PMD). La PMD se ha constituido en una limitante en los sistemas de Telecomunicaciones ópticas de alta capacidad y largas distancias. Debido a esto, hemos considerado necesario desarrollar metodologías tendientes a disminuir su impacto en los enlaces ópticos, observando su influencia directa en las transmisiones digitales.

1. Introducción

Las telecomunicaciones ópticas se han constituido actualmente en el medio de comunicación por excelencia para la transmisión de grandes volúmenes de datos a altas velocidades. Para llegar a este punto, se han desarrollado una serie de tecnologías nuevas las cuales permiten el tránsito de grandes cantidades de datos, siendo investigados actualmente, con el fin de aprovechar al máximo la capacidad potencial de este novedoso medio de transmisión.

2. Evolución Histórica

En las dos últimas décadas las redes ópticas han tomado un auge impresionante, en la transmisión de información en enlaces de alta y muy alta capacidad en redes WAN (redes de rea amplia) y MAN (redes metropolitanas), debido a su gran ancho de banda (aproximadamente 40.000 GHz), pequeño tamaño y reducido costo de instalación. Es tanto el impacto de esta tecnología que actualmente el 60% de las telecomunicaciones mundiales actuales se transportan por este medio y se espera que en el próximo siglo alcance el 85%. En la Fig. 1 se presenta

una comparación en la capacidad de transmisión de los diferentes medios de transmisión con que se cuenta actualmente, teniendo en cuenta su evolución histórica.

Fuera de las ventajas hasta ahora mencionadas, las fibras ópticas poseen también otras bondades como su flexibilidad para adaptar nuevas velocidades de transmisión, complejidad reducida, baja potencias de transmisión (del orden de los miliwatios para enlaces de telecomunicaciones) y facilidad de consecución de la materia prima para la fabricación de fibras ópticas. La evolución de las telecomunicaciones ópticas se ha realizado por pasos, cada uno tendiente a lograr un mayor aprovechamiento del ancho de banda de transmisión.

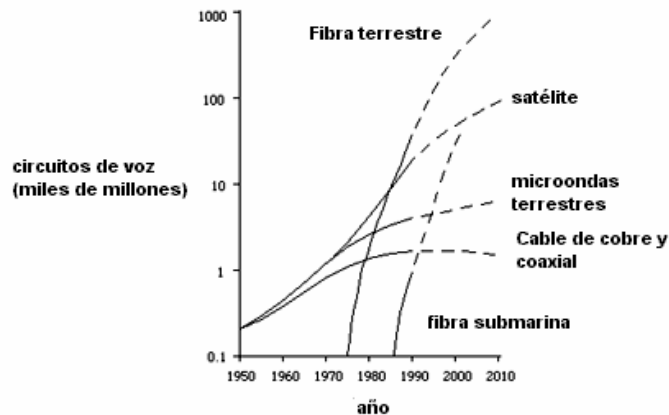


Fig. 1: Evolución histórica en la capacidad de diferentes medios de transmisión.

Inicialmente, la fibra multimodo se presentó como un medio de transmisión de alta capacidad, pero su ancho de banda era reducido, debido a fallas de fabricación y su esencia de funcionamiento (multimodal) que hace que su ancho de banda sea del orden de cientos de MHz por Km. Con el mejoramiento de los métodos de fabricación se creó la fibra óptica monomodo que proporciona una mayor ancho de banda, esto unido a regiones de funcionamiento donde las pérdidas son mínimas (tercera ventana de transmisión - 1550 nm) permitiendo alcanzar mayores distancias de transmisión sin la utilización de repetidores. Actualmente, la introducción de procesamiento totalmente ópticos de la señal, han permitido aumentar en forma alarmante el ancho

de banda aprovechado, aunque con las actuales tecnologías, se puede mencionar que solo se ha logrado aprovechar el 1% del ancho de banda potencial de la fibra. El reto para los nuevos ingenieros en telecomunicaciones ópticas, es optimizar el funcionamiento de las redes ópticas, con el propósito de prestar nuevos servicios de telecomunicaciones y aprovechar al máximo el ancho de banda ofrecido por la fibra.

3. Amplificadores Ópticos

El procesamiento óptico de la señal transmitida permite evitar los tiempos de procesamiento que se hacen electrónicamente, los cuales resultan ser muy altos comparados con las frecuencias ópticas de funcionamiento de las redes. Los amplificadores ópticos aparecen como la alternativa más apropiada para realizar la amplificación de la señal transmitida, la cual es atenuada por diferentes factores tanto extrínsecos como intrínsecos.

El primer amplificador óptico desarrollado, se conoce con el nombre de amplificador de Fabri-Perot. Debido a sus características: Sensibilidad a la polarización de la señal óptica, dependencia de la temperatura, dependencia de las características ópticas y geométricas, alta figura de ruido (típicamente de 8 a 10 dB), hicieron que su utilización en las redes de telecomunicaciones fuera poco deseable; como una alternativa a este sistema de amplificación, apareció el amplificador de fibra dopada con Erblio, el cual depende de parámetros microscópicos de constitución, en contraposición del amplificador de Fabri-Perot, el cual depende fuertemente de parámetros macroscópicos. Las características de los amplificadores de fibra dopada con Erblio presentan las siguientes características: Es esencialmente lineal, insensible a la polarización, altas ganancias con eficiente acoplamiento óptico en un rango de 40 nm, sus características son determinadas por su composición atómica. En las Fig. 2 y Fig. 3 se presentan la configuración de un amplificador de fibra dopada con Erblio y su curva de respuesta respectivamente.



Fig. 2: Configuración básica de un amplificador EDFA (Erbium doped fiber amplifier)

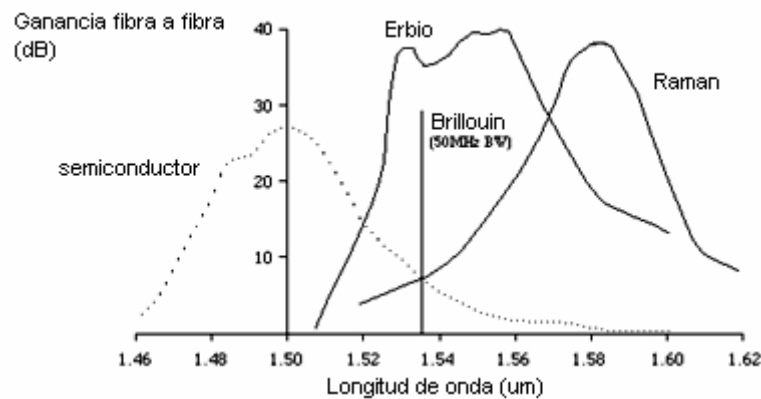


Fig. 3: Respuesta espectral de diferentes amplificadores ópticos.

Esta clase de amplificadores necesita una fuente adicional de potencia óptica, con el fin de llevar a cabo el efecto amplificador. Se eligen fuentes que tienen longitudes de onda de 980 nm y 1480 nm, por su alta capacidad de acoplar potencia a estas longitudes. Un aporte tecnológico importante de esta técnica de amplificación, es la desaparición de la idea de considerar la amplificación óptica como un proceso realizado por equipos puntuales, abriendo paso a un proceso de amplificación distribuido a lo largo de todo el enlace, produciendo fibras que fuera de transmitir la señal, la amplifique, más no la regenere, a medida que se propague.

4. Trasmisión por Solitones

Esta nueva técnica de trasmisión óptica, promete ser el siguiente paso en las redes de telecomunicaciones ópticas. Un pulso solitón, es un pulso

que aprovecha la característica no lineal de la fibra óptica, permitiendo la propagación de un pulso por largas distancias sin sufrir atenuación. Esto idealmente, en la práctica se ha alcanzado una muy buena aproximación a la definición anterior. El pulso solitón esta soportado por la compensación exacta de dos procesos: la dispersión lineal, que causa el ensanchamiento del pulso transmitido y el efecto de compresión del pulso originado por el efecto Kerr.

Para la transmisión por solitones, se requiere que la red sea totalmente óptica y que exista amplificación óptica, esto último debido a que siempre existe una atenuación del pulso, el cual ocasiona que colapse. La aplicación práctica de una transmisión por solitones, está todavía en estudio, pero se planea que en muy corto tiempo se tengan redes con transmisión de este tipo.

5. El Éter Óptico

Se espera que en muy poco tiempo se instalen de manera masiva, redes de telecomunicaciones totalmente soportadas por tecnologías ópticas; es decir, que la fibra óptica llegue hasta cada terminal de usuario. La introducción de las técnicas de transmisión ópticas, llegarán hasta el terminal del usuario, permitiendo aumentar de manera dramática la capacidad de los sistemas de comunicación actuales. Como ejemplo ilustrativo para una central que maneja 200.000 líneas, con las tecnologías ópticas puede aumenta su capacidad a más de 4.000.000 de líneas. Para la realización de este sueño, se requieren nuevas tecnologías en los campos de la electro-óptica y de la electrónica la cual permita transportar estos grandes volúmenes de información de una manera segura y confiable.

En la Fig. 4 se presenta la forma como se utiliza la técnica WDM (multiplexación en longitud de onda) para distinguir un equipo terminal de datos en una red óptica. Nuevas tecnologías inalámbricas, utilizando rayos infrarrojos, están apareciendo en el mercado como una solución para lograr transmisiones de datos de alta velocidad (Gbps), para usuarios que requieren de movilidad del equipo terminal, alcanzando niveles de desempeño muy buenos. Se espera que la penetración de esta tecnología

entre los usuarios de servicios de telecomunicaciones, sea bastante alta para conseguir su permanencia y su posterior desarrollo.

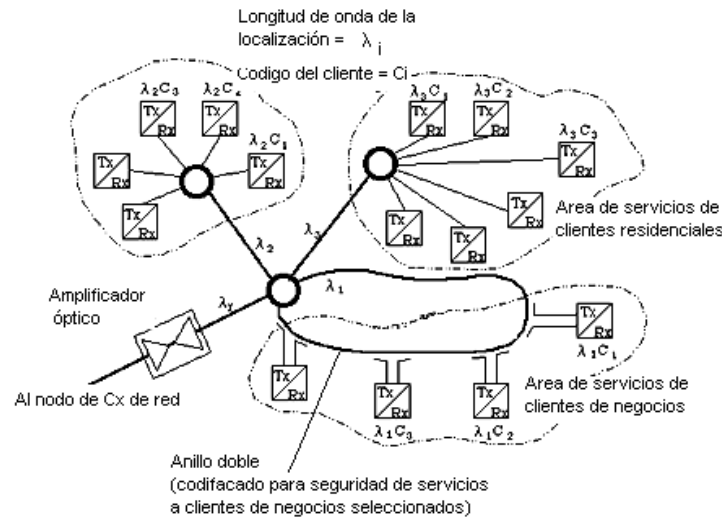


Fig. 4: Configuración de una red totalmente óptica.

6. Computación Óptica

El desarrollo de sistemas de cómputo no está lejano con los actuales alcances en la rama de la óptica, y en el procesamiento óptico de la información. Es así como han aparecido últimamente procesadores ópticos, que procesan información de manera totalmente óptica y paralelamente, sistemas de almacenamiento óptico y la integración de las redes neuronales con la óptica, produciendo la neurona óptica la cual se espera revolucione la manera de procesar la información de los sistemas de cómputo actuales, especialmente en el área de las telecomunicaciones.

Nuevas innovaciones en el campo de la óptica aparecen cada día, posibilitando la realización del sueño del ingeniero en telecomunicaciones, el cual siempre ha deseado y deseará que su sistema posea las siguientes características:

- Ancho de banda infinito.

- Pérdidas de trayectoria nulas.
- Distorsión de trayectoria nulas.
- Región de utilización del material cerca de cero.
- Consumo de potencia nulo.
- Bajo costo.

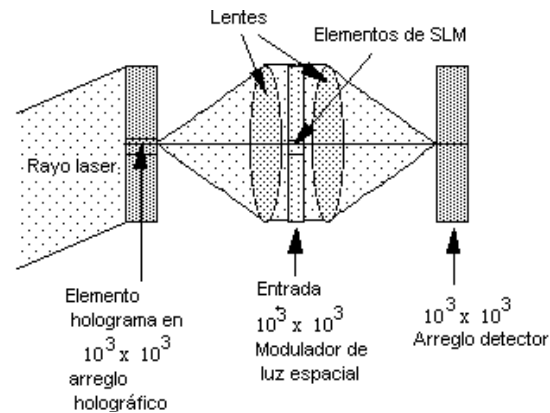


Fig. 5: Procesador óptico paralelo.

Este es el objetivo y la tendencia actual de las empresas dedicadas al negocio de las telecomunicaciones. Además es una línea de investigación bastante rentable actualmente y lo seguirá siendo hasta cuando “la luz pase de moda”.

7. Dispersión por Polarización

Este factor de degradación se ha convertido actualmente, en una de las principales limitaciones para aumentar el volumen de información, cursada a través de las autopistas de información. Se manifiesta por el ensanchamiento de los pulsos transmitidos, ocasionando interferencia intersimbólica de pulsos adyacentes, que indudablemente, degradan el desempeño de la red, haciéndose más notoria en las redes de alta capacidad (redes del área de transporte y enlaces submarinos).

El grupo de Óptica y Láser de la universidad del Cauca, y específicamente el área de interés en telecomunicaciones ópticas, ha concentrado sus esfuerzos en el desarrollo de metodologías, que permitan disminuir el impacto de la polarización de la señal sobre la información

transmitida, a través de redes de telecomunicaciones basadas en fibra óptica. En el desarrollo de este proyecto, se han obtenido los primeros resultados a nivel teórico y se han realizados trabajos de simulación para pronosticar el grado de confianza de estos primeros resultados, los cuales han sido satisfactorios.

Para un enlace de telecomunicaciones con las características citadas en la Tabla 1, afectado por dispersión debido a la polarización, se calculó la función de transferencia del compensador, con una distribución de anchos de pulso uniforme, a la salida del mismo, obteniéndose

$$y = 2\sqrt{3}\sqrt{v}[f(\varphi) + C] \quad (1)$$

Tabla 1: Características del enlace de telecomunicaciones.

Características del enlace	Variabl e	Cantidad
Longitud del enlace	D	10000 Km
Longitud de acoplamiento	L_c	10 cm
Velocidad de transmisión	σ_1	10 Gbps ($\sigma_1 = 2.89 \cdot 10^{-11}$ s)
Retardo birrefringente	$\delta\tau_L$	6 ps/Km
Angulo de acoplamiento	θ	$\pi/4$ ($\rho = 1/2$)

donde,

$$f(\varphi) = 2\varphi^2 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\varphi \exp(-\varphi^2) + (1 - 2\varphi^2) \operatorname{erf}(\varphi) \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}}{\rho \delta\tau_L \sqrt{2DL_c}} \quad (3)$$

C: Constante elegida según los criterios de diseño.

σ_2 : Ancho de pulso a la salida del enlace, afectado por la dispersión por polarización, ésta es una variable aleatoria con distribución:

$$f_{\sigma_2}(\sigma_2) = \frac{2\sigma_2}{L_c \delta \tau_L^2 \rho^2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}}{\rho \delta \tau_L \sqrt{2DL_c}} \right) \quad (4)$$

v: Desviación estándar del compensador.

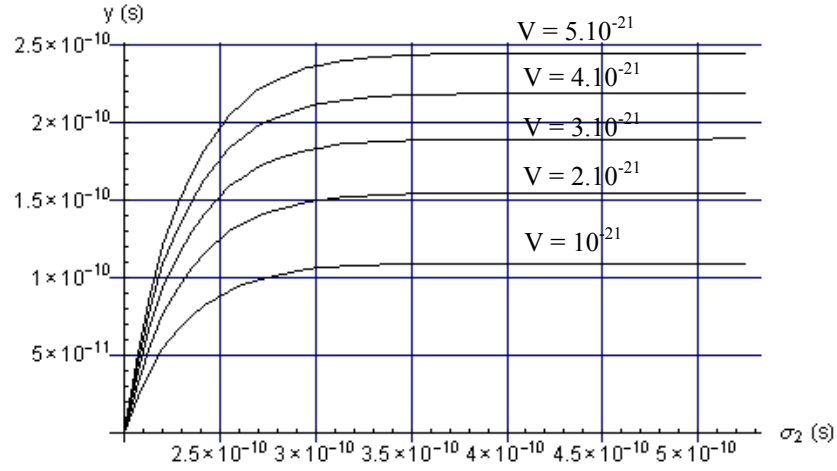


Fig. 6: Ancho de pulso de salida del compensador (y) vs. ancho de pulso de salida de un enlace (σ_2).

En la Fig. 6 se presenta el tipo de respuesta del compensador propuesto, para el enlace descrito anteriormente.

Para desarrollar este proyecto, actualmente se cuenta con el apoyo institucional de la Universidad del Cauca y COLCIENCIAS. Para llevar a cabo su segunda fase, contando con asesoría a nivel internacional, el cual involucra la mayor cantidad y calidad de recursos humanos y técnicos con que cuenta la universidad del Cauca. Se pretende obtener una solución viable desde el punto de vista comercial, con la finalidad de permitir la aplicación práctica de los resultados de este trabajo, contribuyendo de esta manera al avance en el área de las telecomunicaciones.

8. Conclusiones

Los avances logrados en el área de la óptica, han posibilitado la aparición de tecnologías en este campo, para trasportar grandes volúmenes de

información de manera eficiente, así como un desarrollo significativo durante los últimos años, manteniéndose esta tendencia por un largo tiempo, debido a las ventajas de las señales luminosas. El reto es mejorar los sistemas de telecomunicaciones existentes, con la finalidad de saciar el ansia de nuevos, mejores y más eficientes servicios de telecomunicaciones demandado por sus usuarios. Esta es la piedra angular que permite el avance en el área de telecomunicaciones, donde el centro de todo este desarrollo apunta a un solo horizonte: satisfacer las necesidades de comunicación de los clientes.

9. Bibliografía

P. Cochrane, D. J. T. Heatley, P. P. Smith y I. D. Pearson, Optical telecommunications-Future prospects, IEEE Electronics & Communications Engineering Journal, Vol. 5, N 4, Aug 1993, pp. 221-232.

E. Iannone, F. Matera, A. Mecozzi y M. Settembre, Nonlinear Optical Communications Networks, Wiley, New York, 1999.