

---

---

## 8. Conclusiones

---

---

*An optimist is a guy that has never had much experience.*

*Donald R. Perry Marquis*

**E**n este último capítulo se recogen las conclusiones más relevantes a las que se ha llegado en el presente proyecto y se proponen futuras líneas de investigación.

### 8.1 Desarrollo del proyecto

Se ha demostrado cómo los dispositivos WDM permiten incrementar enormemente la capacidad de los sistemas de transmisión actuales sin requerir de desarrollos tecnológicos significativos y sin alterar las arquitecturas de red implantadas. Resumidamente, multiplexar por división en longitud de onda consiste en la transmisión por una misma fibra óptica de varios canales de información, cada uno a una longitud de onda distinta.

Actualmente la tecnología WDM es ampliamente utilizada en redes de cable de fibra óptica submarinos internacionales, consiguiendo unas capacidades y funcionalidad inimaginables hace tan sólo cinco años. Además, la investigación y desarrollo de la WDM en redes regionales y metropolitanas ha madurado considerablemente en los últimos años, habiéndose incrementado el número de prototipos experimentales que en estos momentos están siendo probados en todo el mundo.

En efecto, utilizando dispositivos WDM se podrán alcanzar anchos de banda del orden de los 50 THz, pero el éxito final depende mucho de los componentes ópticos utilizados en las redes. En este proyecto, se ha realizado una somera revisión del estado del arte de la tecnología óptica, vislumbrando las características más relevantes de los distintos dispositivos, a tener presente al tratar con señales multiplexadas por división en longitud de onda.

Existen en el mercado diversos multiplexores y demultiplexores por división en longitud de onda, siendo especialmente atractivos los basados en acopladores y una rejilla de guías de onda en forma de matriz, por su resolución en longitudes de onda y su versatilidad.

Este proyecto fin de carrera, buscaba principalmente, estudiar dispositivos WDM activos basados en la teoría de autoimágenes. Este fenómeno sucede cuando se obtiene a una determinada distancia una imagen del campo presente a la entrada de un bloque de guías de onda multimodo. Las ventajas de estos dispositivos, conocidos por dispositivos MMI se pueden resumir en:

- Gran ancho de banda óptico.
- Insensibilidad a la polarización.
- Dimensiones aceptables.
- Buenas tolerancias de fabricación.
- Bajo coste en su fabricación a gran escala.

El dispositivo está compuesto por un divisor, un *phasar* y un combinador, requiriendo éste último de una determinada diferencia de fase entre las señales ópticas a su entrada, para que mediante interferencia constructiva presente en una sola de sus salidas la suma de todas sus entradas. Para poder desarrollar operaciones de conmutación, interconexión e inserción/extracción de longitudes de onda, además de la multiplexación/demultiplexación de señales, el *phasar* ha de incluir componentes para controlar electrónicamente el desfase relativo inducido a las señales que viajan a su través.

Se han estudiado los distintos efectos físicos susceptibles de producir variaciones en el índice de refracción de un material cristalino, en concreto, los efectos electroóptico, termoóptico y acustoóptico. Las razones por las que finalmente se eligió el efecto termoóptico son:

- Menor sensibilidad a la polarización, lo cual es totalmente necesario pues las señales ópticas que entran a los distintos componentes de las redes ópticas WDM tienen una polarización aleatoria.
- Más posibilidades en la selección del material a utilizar como substrato.
- Necesidad de procesos de fabricación más baratos.
- Menores pérdidas por absorción por portadores libres
- Rangos más amplios de independencia de la variación del índice respecto a la longitud de onda.

Para poder simular el efecto termoóptico mediante el paquete informático comercial disponible, ha sido necesario estudiar la transmisión del calor en una guíaondas, determinando que el perfil que adquiere el índice de refracción en el núcleo de la guíaondas es *gaussiano*. La herramienta de simulación se basa en los sistemas de cálculo llamados BPM, que se podría traducir por métodos de propagación de haz. Además, utiliza el método del índice efectivo, que transforma un problema de índice de refracción en una estructura tridimensional en otro susceptible de ser manejado por un BPM que trabaja con dos dimensiones.

El mecanismo analítico derivado para simular el efecto termoóptico, ha permitido además obtener información relevante acerca de las dimensiones idóneas de la guíaondas y el calentador, de modo que se disminuyan las pérdidas por disipación de potencia, y la distancia mínima entre calentadores, para que éstos no interactúen.

Se ha demostrado que utilizando desplazadores de fase controlados electrónicamente en el *phasar* de un multiplexor MMI, no se mejora la ganancia en su

integración, y es necesario seguir utilizando guías con tramos curvos. Las soluciones encontradas para reducir las dimensiones del dispositivo son, el utilizar materiales con alto índice de refracción, y guías con saltos de índice muy bruscos.

Las ventajas del multiplexor activo se reducen de esta forma, a la posibilidad de tener mayores tolerancias de fabricación y a su funcionalidad añadida. También se ha diseñado un nuevo dispositivo basado en la teoría de interferencia multimodal, un conmutador termoóptico MMI que, aunque presenta la desventaja de su baja velocidad, es muy interesante como conmutador de *bypass* o de protección.

Finalmente ha resultado imposible la simulación y comprobación del funcionamiento de los dispositivos activos diseñados teóricamente, por fallos inherentes al programa disponible.

## 8.2 Futuras líneas de trabajo

Los multiplexores en longitud de onda, como componente fundamental de las actuales y futuras redes ópticas de altas prestaciones, constituye posiblemente, el campo de investigación dentro de la tecnología óptica que más atención está acaparando. Por lo tanto es absolutamente necesario seguir con su estudio.

El tipo de multiplexor que actualmente ofrece mejores prestaciones, es el basado en una rejilla de matriz de guías y placas de enfoque. El estudio de la literatura ha permitido encontrar un multiplexor con dicha estructura y las siguientes características:  $128 \times 128$ , 0,2 nm de separación entre canales,  $58 \times 94 \text{ mm}^2$  de tamaño; utilizando la tecnología del Silicio. De este modo, una de las futuras líneas de investigación podría ser tratar de diseñar un multiplexor basándose en el mismo principio.

Otra línea de trabajo fundamental, es el desarrollo de un BPM que cumpla los siguientes requisitos:

- Sería interesante un simulador que no utilizase la aproximación de guiado débil, con el fin de reducir las dimensiones de la matriz de guiondas.
- Es totalmente necesario para la obtención de conclusiones fiables, que el simulador implemente un algoritmo de propagación de haz en tres dimensiones.
- Capacidad de definir electrodos y calentadores a partir de sus tres dimensiones y del voltaje o de la temperatura aplicada, respectivamente. Por la naturaleza numérica de los algoritmos BMP, la simulación de los efectos termoóptico y electroóptico por el método de elementos finitos es la ideal para integrar conjuntamente con éstos, siendo además el método que proporciona mejores resultados.
- Capacidad de definir varias capas.
- Capacidad de utilizar materiales anisótropos, pudiendo definir la constante dieléctrica, conductividad, coeficiente electroóptico y coeficiente termoóptico.

Otra solución que proporcionaría resultados a más corto plazo, con la desventaja del coste económico, es adquirir el simulador comercial *Prometheus DV 3.0* de *BBV*<sup>1</sup>, junto al producto *Selene Pro*. Algunos investigadores han optado para el análisis del flujo de calor por el simulador *Solidis 2.0* de *ISE*<sup>2</sup>.

Conseguido este simulador, se estaría en disposición de comprobar el diseño teórico de los dispositivos estudiados en el presente proyecto y de seguir investigando componentes con la misma funcionalidad y mayor número de entradas y salidas.

---

<sup>1</sup> Más información en <http://www.bbv-software.com/index.html>.

<sup>2</sup> Más información en <http://www.ise.com/index.html>.