

RESUMEN

Actualmente únicamente se utiliza la banda infra-roja y la banda C+L (longitudes de onda de 1300 nm a 1600 nm). Esto es debido a la gran disponibilidad comercial de dispositivos de amplificación, principalmente amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFA, del inglés *erbium-doped fiber amplifier*), en dicha banda. La capacidad útil de la banda C+L, aunque sustancial, es finita, y se está agotando debido a la creciente demanda de capacidad exigida por los usuarios. La propagación de pocos modos (FMF, del inglés *few-mode fiber*) en la fibra óptica ha surgido como una oportunidad tecnológica para incrementar la capacidad de transmisión (régimen binario \times número de usuarios) de los enlaces ópticos. Por ello, la utilización de técnicas de multiplexación por división de modos (MDM, del inglés *mode division multiplexing*) en fibras monomodo estándar (SSMF, del inglés *standard single-mode fiber*), ampliamente desarrollada en redes ópticas comerciales y de menor coste, o en guías ópticas basadas en SOI (del inglés, *silicon-on-insulator*), dada su fácil fabricación, supondría un incremento del régimen binario a un coste muy reducido.

En esta Tesis Doctoral, se propone diferentes técnicas de acoplo y conversión modal destinadas a aumentar la capacidad de transporte en sistemas de telecomunicaciones sobre fibra óptica. En particular, el objetivo principal es el desarrollo de la tecnología necesaria para conseguir una multiplexación modal utilizando un número limitado de modos, de manera controlada. Para ello, se estudian dos escenarios MDM con dos longitudes de onda distinta. Por un lado, usando la longitud de onda de 850 nm sobre SSMF favoreciendo la utilización de componentes ópticos y electro-ópticos de coste mucho menor que sus equivalentes en la banda C+L. Esta novedosa tecnología de transmisión permitirá una nueva generación de interconexiones ópticas de muy alta capacidad aplicable a enlaces chip-a-chip, a backplanes ópticos y también a clústeres de computación de altas prestaciones y centros de conmutación de red. Por otro lado, usando la longitud de onda de 1550 nm sobre guías ópticas basadas en SOI, es decir, Si (silicio) sobre sustrato de SiO₂ (óxido de silicio) favoreciendo la utilización de dispositivos basados en tecnología integrada que ofrecen un menor tamaño, mejor repetibilidad y robustez que los dispositivos basados en fibra óptica.

Para ello, se propone el uso de acopladores ópticos fusionados siendo un elemento indispensable a la hora de multiplexar y demultiplexar los distintos modos ópticos en un enlace MDM a 850 nm. Esta técnica permite multiplexar/demultiplexar los modos ópticos cuando el tipo de acoplador óptico utilizado es simétrico (DC, del inglés *directional coupler*), siendo necesario la utilización de un conversor de modos. También se estudia la posibilidad de convertir el modo óptico mediante la utilización de un acoplador óptico asimétrico (ADC, del inglés *asymmetrical directional coupler*), no siendo necesario utilizar un conversor de modos y simplificando el esquema MDM.

Además, en esta tesis doctoral también se propone y evalúa el diseño de un conversor de modos mecánico basado en SSMF. Esta técnica permite obtener el primer modo de orden superior con una alta calidad y sin la necesidad de utilizar un ADC.

Después de esto, se propone y evalúa la posibilidad de utilizar acopladores comerciales (diseñados a 1550 nm) a la longitud de onda de 850 nm permitiendo de esta forma reducir la necesidad de utilizar acopladores ópticos y conversores modales específicamente diseñados en dicha longitud de onda. Esta técnica reduciría los costes del sistema al necesitar un menor número de dispositivos y aprovechar los dispositivos diseñados a 1550 nm, siendo más económicos que los diseñados a 850 nm.

En esta Tesis también se propone el uso de ADCs en guías *strip* basadas en SOI para la conversión y multiplexación de los modos ópticos desde la guía fundamental a la guía de dos modos, a la longitud de onda de 1550 nm. Para ello se estudia y demuestra experimentalmente diferentes diseños con el fin de obtener el diseño más robusto frente a las tolerancias de fabricación consiguiendo un rendimiento óptimo.

Además, el uso de DCs sobre guías *ridge* es comúnmente utilizado y ofrece mejores prestaciones que el basado en guías *strip*, por ese motivo esta Tesis estudia y evalúa el uso

de ADCs sobre guías *ridge* mediante el método de análisis de los índices efectivos de los supermodos par e impar. De esta forma se realiza una comparación entre los diseños óptimos de ambas estructuras (*strip* y *ridge*) con el objetivo de averiguar qué diseño ofrece mejores prestaciones.

Por último, se propone y estudia el diseño de un acoplador *grating* capaz de multiplexar y demultiplexar los modos ópticos del modo fundamental y del primer orden superior desde la guía óptica a la fibra óptica y viceversa. Para ello se proponen diferentes diseños con el objetivo de conseguir un diseño más tolerante y eficiente frente a los errores por desalineamiento obteniendo un acoplo óptimo.

El uso de todas estas técnicas permitirá realizar la multiplexación modal sobre los diferentes escenarios y así aumentar el ancho de banda del sistema.